

Segurança contra Incêndios em Edifícios de Centros Urbanos Antigos – Antigo Orfeão e o Centro Histórico de Viseu

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil – Especialização em Construção Urbana

Autor

Paulo Jorge Fechinha Figueiredo

Orientadores

Prof. Doutor António José Pedroso de Moura Correia

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Prof. Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu

Coimbra, dezembro, 2018

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor António Correia pelo seu entusiasmo, disponibilidade, empenho, orientação e apoio na transmissão dos seus conhecimentos e sugestões ao longo da elaboração do trabalho.

Ao Professor Doutor Ricardo Almeida pela ajuda na disponibilidade de todos os meios, informações e colaboração com a Autarquia de Viseu que sem o qual não teria sido possível este trabalho.

Aos engenheiros Tiago Escada e Carlos Sá da Câmara Municipal de Viseu pelo material de informação disponibilizado sobre o centro histórico e os seus edifícios e a autorização e acompanhamento nas visitas ao interior do edifício do antigo Orfeão de Viseu.

Ao engenheiro Kyle Perkuhn pela disponibilidade de chaves para utilização dos softwares Pyrosim e Pathfinder e em especial ao engenheiro Bryan Klein da Thunderhead Engineering pela fantástica ajuda na resolução de problemas na elaboração dos modelos e obtenção de resultados no software Pyrosim, sem o qual não teria conseguido atingir os objetivos propostos para este trabalho.

Ao Serviço de Gestão da Infraestrutura Tecnológica do ISEC por todo o apoio informático prestado.

Ao Instituto Superior de Engenharia de Coimbra e a todos os professores do Departamento de Engenharia Civil pela transmissão de conhecimentos que proporcionaram o meu enriquecimento ao longo de toda a minha formação académica.

Aos meus colegas Nuno Coelho e Gonçalo Borges pela companhia, convívio e apoio nos trabalhos e estudos ao longo do mestrado.

Um agradecimento muito especial à minha esposa Marisa Silveiro pelo apoio, carinho, compreensão e sobretudo paciência pelo tempo dedicado à elaboração da dissertação. Obrigado por seres um pilar na minha vida e pelo nosso filho João Francisco, vocês deram um novo sentido e força na minha vida.

Aos meus Pais que são responsáveis por ser quem eu sou graças ao apoio, educação, transmissão de valores e princípios.

Um forte e sentido cumprimento de gratidão para todos!

RESUMO

Este estudo tem como tema a Segurança contra Incêndios em Edifícios Antigos aplicado ao edifício do antigo Orfeão de Viseu e edifícios vizinhos na Rua Direita, recorrendo a uma avaliação baseada no desempenho com a utilização do software de simulação dinâmica de fluidos (FDS), através da aplicação Pyrosim que permite a obtenção de resultados de visualização campos de temperaturas e de fumos, a evolução da propagação e o impacto de implementação de medidas de combate a incêndio no cenário. Utilizou-se o software Pathfinder que simula a evacuação de ocupantes no momento do incêndio. Foi feita a integração dos resultados das simulações de incêndio e de evacuação permitindo avaliar a efetividade das medidas de combate a incêndio na segurança da evacuação dos ocupantes.

A evolução tecnológica do hardware em termos de capacidade de processamento dos computadores, nos últimos anos, tem proporcionado a utilização de softwares complexos de simulação dinâmica de fluidos em computadores mais acessíveis possibilitando a execução de variadíssimos cenários de incêndio e visualização de resultados através da simulação virtual, permitindo a elaboração de projetos e de estudos de avaliação de segurança contra incêndios baseado no desempenho por parte de projetistas e especialistas a um custo acessível para o mercado estando esta tendência a verificar-se a nível internacional.

A avaliação prescritiva com base na aplicação da legislação de segurança contra incêndios em edifícios já existentes e sobretudo históricos como é o caso dos edifícios alvos deste estudo revela-se difícil e em alguns casos impossível sem alterar a sua arquitetura, o que se traduziria em prejuízos no valor histórico patrimonial. Este trabalho tem por objetivo demonstrar a viabilidade de estudos utilizando métodos de avaliação baseados no desempenho e também a avaliação da segurança de evacuação dos ocupantes com recurso a softwares específicos contribuindo para futuros trabalhos nesta área.

Palavras – chave:

Segurança, Incêndios, Edifícios, Evacuação, Simulação, Pyrosim, Pathfinder

ABSTRACT

This study has the theme Fire Safety in Historic Buildings applied to the building of the old Orfeão de Viseu and neighboring buildings in Rua Direita, using a performance-based assessment using dynamic fluid simulation FDS software through the Pyrosim application that allows obtaining results of visualization fields of temperature and smoke, the evolution of the spread and the impact of implementing fire-fighting measures in the scene. Pathfinder software was used to simulate evacuation of occupants at the time of fire. The results of the fire and evacuation simulations were integrated to evaluate the effectiveness of fire-fighting measures in the safety of evacuation of occupants.

The technological evolution of the hardware in terms of processing capacity of processors, storage memory and graphics cards in recent years has provided the use of complex software for dynamic fluid simulation in more accessible computers enabling the execution of various scenes of fire and visualization of results through virtual simulation, allowing the elaboration of projects and studies of fire safety assessment based on performance by designers and specialists at an affordable cost to the market and this tendency to occur internationally.

The prescriptive assessment based on the application of the fire safety legislation in existing buildings and especially historical ones such as the target buildings of this study proves difficult and, in some cases, impossible without changing the its architecture, which would translate into losses in historical patrimonial value. The objective of this study is to demonstrate the feasibility of studies using performance - based assessment methods and also to evaluate occupant evacuation safety using specific software, contributing to future work in this area.

Keywords:

Safety, Fires, Buildings, Evacuation, Simulation, Pyrosim, Pathfinder

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Enquadramento.....	1
1.2.	Objectivos da dissertação	1
1.3.	Estrutura da dissertação.....	2
2.	ESTADO DA ARTE	3
3.	CARACTERIZAÇÃO DE INCÊNDIOS	7
3.1.	Definição de fogo	7
3.2.	Estágios de desenvolvimento do fogo	7
3.3.	Propagação do Fogo.....	8
3.4.	Pontos de temperatura.....	9
3.5.	Classificação dos Incêndios.....	10
3.6.	Métodos de extinção e combate.....	10
4.	CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO DO ANTIGO ORFEÃO DE VISEU E A RUA DIREITA	11
5.	MODELAÇÃO E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE INCÊNDIO	16
5.1.	Introdução	16
5.2.	Modelação 3D	17
5.3.	Modelação computacional FDS com interface Pyrosim.....	21
5.3.1.	Importação	21
5.3.2.	Definição dos materiais.....	22
5.3.3.	Definição de malha de cálculo (mesh)	24
5.3.4.	Criação de superfícies e curvas de incêndio	25
5.3.5.	Dispositivos de exclusão de vidros	28
5.3.6.	Análise de temperaturas e visibilidade.....	29
5.4.	Modelação computacional de evacuação com interface Pathfinder	30
5.4.1.	Introdução	30
5.4.2.	Modelação	31
6.	APLICAÇÃO E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	38
6.1.	Introdução	38
6.2.	Modelos FDS com recurso ao software Pyrosim	39
6.2.1.	Modelo A	39
6.2.2.	Modelo B	39
6.2.3.	Modelo C	42
6.2.4.	Modelo D	43
6.3.	Modelo de evacuação com recurso ao software Pathfinder	44
6.4.	Análise dos resultados da modelação dos incêndios e evacuação.....	48
6.4.1.	Introdução	48
6.4.2.	Análise e comparação dos resultados entre os diversos modelos – Modelo A	48
6.4.3.	Análise e comparação dos resultados entre os diversos modelos – Modelo B.....	58
6.4.4.	Análise e comparação dos resultados entre os diversos modelos – Modelo C.....	62
6.4.5.	Análise e comparação dos resultados entre os diversos modelos – Modelo D	70
6.4.6.	Conclusão da análise dos resultados entre os diversos modelos	74
6.4.7.	Análise dos modelos de evacuação Pathfinder	74
6.4.7.1.	Modelo de evacuação 1	74
6.4.7.2.	Modelo de evacuação 2.....	77
6.4.8.	Simulação de incêndio em loja do piso térreo – Modelo E	80
6.4.8.1.	Modelo de incêndio em loja do piso térreo – Modelo E.....	80
6.4.8.2.	Análise dos resultados do modelo de incêndio na loja do piso térreo	83
7.	AValiação PRESCRITIVA SEGUNDO A LEGISLAÇÃO DE SCIE EM VIGOR	89
7.1.	Introdução	89
7.2.	Caracterização do edifício quanto à sua utilização	89
7.3.	Classificação de categoria de risco	89
7.4.	Classificação dos locais de risco.....	89
7.5.	Condições exteriores comuns	89
7.5.1.	Vias de acesso	89
7.5.2.	Acessibilidade às fachadas	90
7.5.3.	Limitações à propagação do incêndio pelo exterior	90
7.5.4.	Disponibilidade de água para os meios de socorro	90

7.6.	Condições gerais de comportamento ao fogo, isolamento e protecção	90
7.6.1.	Resistência ao fogo de elementos estruturais e incorporados	90
7.6.2.	Compartimentação geral de fogo	91
7.6.3.	Isolamento e protecção de locais de risco	91
7.6.4.	Isolamento e protecção das vias de evacuação	91
7.6.5.	Reacção ao fogo	91
7.6.5.1.	Revestimentos em vias de evacuação	91
7.6.5.2.	Revestimentos em locais de risco	92
7.6.5.3.	Materiais de tectos falsos	92
7.6.5.4.	Mobiliário fixo em local de risco B	92
7.7.	Condições gerais de evacuação	92
7.7.1.	Evacuação dos locais	92
7.7.2.	Caracterização das vias de evacuação horizontais	93
7.7.3.	Caracterização das vias de evacuação verticais	93
7.8.	Condições das instalações técnicas	94
7.8.1.	Instalações de energia eléctrica	94
7.8.2.	Instalações de aquecimento	94
7.8.3.	Evacuação de efluentes de combustão	94
7.9.	Condições gerais dos equipamentos e sistemas de segurança	94
7.9.1.	Sinalização	94
7.9.2.	Iluminação de emergência	96
7.9.3.	Detecção, alarme e alerta	96
7.9.4.	Controlo de fumo	97
7.9.5.	Meios de intervenção	97
7.9.6.	Sistemas fixos de extinção automática de incêndios	97
7.9.7.	Detecção automática de gás combustível	97
7.9.8.	Posto de segurança	97
8.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTOS	98
8.1.	Conclusões	98
8.2.	Sugestões para desenvolvimentos futuros	99
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXO 1 – ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DAS TEMPERATURAS E DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE DOS MODELOS CALCULADOS		104
1.	Localização dos planos de temperaturas e visibilidade	104
2.	Modelo A – Evolução das temperaturas e distâncias de visibilidade	105
3.	Modelo B – Evolução das temperaturas e distâncias de visibilidade	114
4.	Modelo C – Evolução das temperaturas e distâncias de visibilidade	124
5.	Modelo D – Evolução das temperaturas e distâncias de visibilidade	133
6.	Modelo E – Evolução das temperaturas e distâncias de visibilidade	142
ANEXO 2 – PLANTAS DE SCIE DO EDIFÍCIO DO ANTIGO ORFEÃO DE VISEU		149

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - TETRAEDRO DO FOGO [1]	7
FIGURA 2 - CURVA DO INCÊNDIO (COSTA, 2001).....	8
FIGURA 3 - ILUSTRAÇÃO DAS TRÊS FORMAS DE TRANSFERÊNCIAS DE CALOR [2]	9
FIGURA 4 - VISTA AÉREA DO EDIFÍCIO DO ANTIGO ORFEÃO E SUA ENVOLVENTE [3]	11
FIGURA 5 - FACHADA PRINCIPAL	12
FIGURA 6 - PAREDES INTERIORES NO PISO TÉRREO	12
FIGURA 7 - PAREDES INTERIORES NO PRIMEIRO PISO	13
FIGURA 8 - PAREDES EXTERIORES NO SÓTÃO	13
FIGURA 9 - PAVIMENTOS EM MADEIRA NO PRIMEIRO PISO E SÓTÃO.....	14
FIGURA 10 - PAVIMENTOS EM PEDRA E MOSAICOS HIDRÁULICOS NO PISO TÉRREO.....	14
FIGURA 11 - ESTRUTURA DA COBERTURA EM MADEIRA	15
FIGURA 12 - COBERTURA EM TELHA CERÂMICA.....	15
FIGURA 13 - MODELO TRIDIMENSIONAL DO EDIFÍCIO DO ANTIGO ORFEÃO DE VISEU - VISTA SUDOESTE	17
FIGURA 14 - MODELO TRIDIMENSIONAL DO EDIFÍCIO DO ANTIGO ORFEÃO DE VISEU - VISTA NORDESTE	17
FIGURA 15 - PERSPETIVA DO EDIFÍCIO SEM PAREDES EXTERIORES - VISTA SUDOESTE	18
FIGURA 16 - PERSPETIVA DO EDIFÍCIO SEM PAREDES EXTERIORES - VISTA NORDESTE	18
FIGURA 17 - PERSPETIVA DO EDIFÍCIO SEM PAREDES EXTERIORES - VISTA NORTE	18
FIGURA 18 - TETOS DO RÉ DO CHÃO E PRIMEIRO PISO	19
FIGURA 19 - BARROTES DAS LAJES	19
FIGURA 20 - MODELO TRIDIMENSIONAL DO EDIFÍCIO DO ANTIGO ORFEÃO DE VISEU	19
FIGURA 21 - MOBILIÁRIO	20
FIGURA 22 - MOBILIÁRIO	20
FIGURA 23 - BARROTES E RIPADO DA COBERTURA	21
FIGURA 24 - ASNAS	21
FIGURA 25 - MODELO REPRESENTATIVO DOS EDIFÍCIOS EXISTENTES NA RUA DIREITA	22
FIGURA 26 - IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES DO EDIFÍCIO	22
FIGURA 27 - IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DO EDIFÍCIO	23
FIGURA 28 - CAMPO DE EDIÇÃO DOS MATERIAIS	23
FIGURA 29 - BIBLIOTECA CFAST	24
FIGURA 30 - MALHA DE CÁLCULO	24
FIGURA 31 - DIMENSÃO DAS CÉLULAS	25
FIGURA 32 - GRÁFICO CURVA DE INCÊNDIO	25
FIGURA 33 - GRÁFICO CURVA DE INCÊNDIO	26
FIGURA 34 - GRÁFICO CURVA DE INCÊNDIO	26
FIGURA 35 - GRÁFICO CURVA DE INCÊNDIO	26
FIGURA 36 - GRÁFICO CURVA DE INCÊNDIO	27
FIGURA 37 - CAMPO DE EDIÇÃO DE SUPERFÍCIES DO PYROSIM	27
FIGURA 38 - DISPOSITIVO DE EXCLUSÃO	28
FIGURA 39 - ATIVAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE EXCLUSÃO	28
FIGURA 40 - DISPOSITIVOS DE EXCLUSÃO NA FACHADA PRINCIPAL.....	29
FIGURA 41 - PLANOS DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURAS E VISIBILIDADE.....	29
FIGURA 42 - SENSORES DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURAS	30
FIGURA 43 - SENSORES DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURAS	30
FIGURA 44 - MODELO 3D.....	31
FIGURA 45 - CRIAÇÃO DE ÁREAS DAS DIVISÕES.....	32
FIGURA 46 - CRIAÇÃO DE PORTAS	32
FIGURA 47 - CRIAÇÃO DE ESCADAS	33
FIGURA 48 - MODELO FINAL DE COMPARTIMENTAÇÃO	33
FIGURA 49 - INTRODUÇÃO DE OCUPANTES	34
FIGURA 50 - PARÂMETROS DE OCUPANTES	34
FIGURA 51 - PARÂMETROS ADICIONAIS DE OCUPANTES.....	35
FIGURA 52 - CAMPO DE EDIÇÃO DE PERFIL.....	35
FIGURA 53 - COMANDO "RUN SIMULATION"	35
FIGURA 54 - VISUALIZAÇÃO DOS OCUPANTES	36

FIGURA 55 – COMANDO “OCCUPANT DISPLAY”	36
FIGURA 56 - CAMINHOS DE EVACUAÇÃO.....	37
FIGURA 57 - DENSIDADE DE OCUPANTES POR METRO QUADRADO	37
FIGURA 58 - VELOCIDADE DOS OCUPANTES	38
FIGURA 59 - LOCAL DE INÍCIO DE INCÊNDIO	38
FIGURA 60 - MODELO A.....	39
FIGURA 61 - EXAUSTORES.....	40
FIGURA 62 - SAÍDA DOS EXAUSTORES.....	40
FIGURA 63 - CAUDAL DE EXAUSTÃO.....	41
FIGURA 64 - TEMPO DE ATIVAÇÃO DOS EXAUSTORES	41
FIGURA 65 – ABERTURA DE CLARABOIA	41
FIGURA 66 - SPRINKLER'S A ÁGUA	42
FIGURA 67 - TEMPERATURA DE ATIVAÇÃO.....	42
FIGURA 68 – MODELO DE SPRINKLER SELECIONADO	43
FIGURA 69 – SPRINKLER'S A GÁS	43
FIGURA 70 - FLUXO DE MASSA	44
FIGURA 71 - TEMPO DE ATIVAÇÃO	44
FIGURA 72 - OCUPANTES NO SALÃO DE EVENTOS.....	45
FIGURA 73 - OCUPANTES NO SALÃO DE LEITURA	45
FIGURA 74 - OCUPANTES NA SALA DE REUNIÕES	45
FIGURA 75 – DEFINIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS COMPORTAMENTOS	46
FIGURA 76 – DEFINIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS COMPORTAMENTOS	46
FIGURA 77 – DEFINIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS COMPORTAMENTOS.....	47
FIGURA 78 - VELOCIDADE DOS OCUPANTES	47
FIGURA 79 – VISUALIZAÇÃO SIMULTÂNEA DAS SIMULAÇÕES DE INCÊNDIO E EVACUAÇÃO	48
FIGURA 80 - MODELO A AOS CINCO SEGUNDOS	49
FIGURA 81 - MODELO A AOS 5 SEGUNDOS	49
FIGURA 82 - PLANO DE VISIBILIDADE À COTA 5,50 METROS AOS 5 SEGUNDOS.....	49
FIGURA 83 - PLANO DE VISIBILIDADE À COTA 7,50 METROS AOS 5 SEGUNDOS.....	50
FIGURA 84 - MODELO A AOS 10,60 SEGUNDOS.....	50
FIGURA 85 - MODELO A AOS 10,60 SEGUNDOS.....	51
FIGURA 86 - MODELO A AOS 23,60 SEGUNDOS.....	51
FIGURA 87 - MODELO A AOS 23,60 SEGUNDOS.....	52
FIGURA 88 – CAIXA DE ESCADA E CORREDOR DO PISO ZERO AOS 23,60 SEGUNDOS	52
FIGURA 89 – CAIXA DE ESCADA AOS 23,60 SEGUNDOS	52
FIGURA 90 – PERSPETIVA DO INTERIOR DA CAIXA DE ESCADAS AO NÍVEL DO PISO 1	53
FIGURA 91 – PERSPETIVA DA SAÍDA PARA AS ESCADAS DE ACESSO AO TERRAÇO.....	53
FIGURA 92 – PLANO DE VISIBILIDADE À COTA 5,50 METROS AOS 23,60 SEGUNDOS	53
FIGURA 93 – GRUPO DE OCUPANTES BLOQUEADOS NO SALÃO DE EVENTOS	54
FIGURA 94 – GRUPO DE OCUPANTES ENVOLTOS PELO FUMO	54
FIGURA 95 – PLANO DE TEMPERATURAS À COTA 5,50 METROS AOS 20,10 SEGUNDOS	55
FIGURA 96 – QUEBRA DE VIDROS NO MODELO A	55
FIGURA 97 – PLANOS DE TEMPERATURAS NAS FACHADAS PRINCIPAIS	56
FIGURA 98 – PLANO DE TEMPERATURA NA FACHADA PRINCIPAL DO EDIFÍCIO.....	56
FIGURA 99 – PLANO DE TEMPERATURA NAS FACHADAS PRINCIPAIS DOS EDIFÍCIOS VIZINHOS	57
FIGURA 100 – LEITURA DE TEMPERATURAS NA CAIXA DE ESCADAS	57
FIGURA 101 - EXAUSTORES EM FUNCIONAMENTO E CLARABOIA ABERTA	58
FIGURA 102 – MODELO B AOS 23,60 SEGUNDOS	58
FIGURA 103 – PLANO DE VISIBILIDADE À COTA 5,50 METROS AOS 23,60 SEGUNDOS.....	59
FIGURA 104 – CAIXA DE ESCADA AOS 23,60 SEGUNDOS	59
FIGURA 105 – PERSPETIVA DO INTERIOR DA CAIXA DE ESCADAS AO NÍVEL DO PISO 1	60
FIGURA 106 – PERSPETIVA DO CORREDOR JUNTO À SAÍDA DO SALÃO	60
FIGURA 107 – PERSPETIVA DA SAÍDA PARA AS ESCADAS DE ACESSO AO TERRAÇO.....	61
FIGURA 108 – CORREDOR E ESCADAS DE ACESSO AO TERRAÇO	61
FIGURA 109 – QUEBRA DE VIDROS NO MODELO B	62
FIGURA 110 - LEITURA DE TEMPERATURAS NA CAIXA DE ESCADAS	62

FIGURA 111 – FUNCIONAMENTO DOS SPRINKLER’S	63
FIGURA 112 – PERSPECTIVA DO FUNCIONAMENTO DOS SPRINKLER’S NO INTERIOR DO EDIFÍCIO	63
FIGURA 113 – MODELO C AOS 23,60 SEGUNDOS.....	64
FIGURA 114 – PLANO DE VISIBILIDADE À COTA 5,50 METROS AOS 23,60 SEGUNDOS.....	64
FIGURA 115 – PLANO DE TEMPERATURAS À COTA 5,50 METROS AOS 23,60 SEGUNDOS.....	64
FIGURA 116 – CAIXA DE ESCADA AOS 23,60 SEGUNDOS.....	65
FIGURA 117 – PERSPECTIVA DO INTERIOR DA CAIXA DE ESCADAS AO NÍVEL DO PISO 1	65
FIGURA 118 – CORREDOR E ESCADAS DE ACESSO AO TERRAÇO	66
FIGURA 119 – PERSPECTIVA DO CORREDOR JUNTO À SAÍDA DO SALÃO	66
FIGURA 120 - GRUPO DE OCUPANTES EXPOSTO AO RISCO DE INTOXICAÇÃO	67
FIGURA 121 – PLANO DE VISIBILIDADE AOS 38,50 SEGUNDOS	67
FIGURA 122 – ÚLTIMOS OCUPANTES NO SALÃO DE EVENTOS AOS 38,50 SEGUNDOS.....	68
FIGURA 123 - PLANO DE VISIBILIDADE AOS 38,50 SEGUNDOS	68
FIGURA 124 – SAÍDA DOS ÚLTIMOS OCUPANTES AOS 44,80 SEGUNDOS	68
FIGURA 125 – PLANO DE VISIBILIDADE AOS 44,80 SEGUNDOS	69
FIGURA 126 - LEITURA DE TEMPERATURAS NA CAIXA DE ESCADAS.....	69
FIGURA 127 – INEXISTÊNCIA DE QUEBRA DE VIDROS NO MODELO C	70
FIGURA 128 – ATIVAÇÃO DO SISTEMA AUTOMÁTICO DE EXTINÇÃO POR GÁS AOS 60 SEGUNDOS.....	70
FIGURA 129 – OCUPANTES RODEADOS PELO FUMO DURANTE A EVACUAÇÃO	71
FIGURA 130 – PLANO DE VISIBILIDADE À COTA 5,50 METROS AOS 12 SEGUNDOS.....	71
FIGURA 131 – PLANO DE TEMPERATURAS À COTA 5,50 METROS AOS 14,30 SEGUNDOS.....	72
FIGURA 132 – DESENVOLVIMENTO DO FUMO AOS 23,80 SEGUNDOS	72
FIGURA 133 - PLANO DE VISIBILIDADE À COTA 5,50 METROS AOS 23,80 SEGUNDOS.....	73
FIGURA 134 – PLANO DE TEMPERATURAS À COTA 5,50 METROS AOS 23,80 SEGUNDOS.....	73
FIGURA 135 – PLANO DE VISIBILIDADE À COTA 5,50 METROS AOS 33,20 SEGUNDOS	73
FIGURA 136 – QUEBRA DE VIDROS NO MODELO D	74
FIGURA 137 – PRIMEIRO MODELO DE EVACUAÇÃO	75
FIGURA 138 – PRESENÇA DE OCUPANTES NO EDIFÍCIO.....	75
FIGURA 139 – PRESENÇA DE OCUPANTES NAS DIVISÕES	76
FIGURA 140 – PRESENÇA DE OCUPANTES NAS ESCADAS	76
FIGURA 141 – TAXA DE FLUXO DAS SAÍDAS PARA O EXTERIOR	77
FIGURA 142 – TAXA DE FLUXO DOS VÃOS INTERIORES	77
FIGURA 143 – SEGUNDO MODELO DE EVACUAÇÃO	78
FIGURA 144 - PRESENÇA DE OCUPANTES NO EDIFÍCIO	78
FIGURA 145 - PRESENÇA DE OCUPANTES NAS DIVISÕES.....	79
FIGURA 146 – PRESENÇA DE OCUPANTES NAS ESCADAS	79
FIGURA 147 – TAXA DE FLUXO DAS SAÍDAS PARA O EXTERIOR	80
FIGURA 148 – TAXA DE FLUXO DOS VÃOS INTERIORES	80
FIGURA 149 – VISTA EM CORTE.....	81
FIGURA 150 – VISTA EM PLANTA	81
FIGURA 151 – CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL DO ALGODÃO.....	82
FIGURA 152 – CARACTERÍSTICAS DA SUPERFÍCIE DO ALGODÃO.....	82
FIGURA 153 – ESPESSURA DE COMBUSTÃO DO ALGODÃO.....	83
FIGURA 154 – INÍCIO DO INCÊNDIO	83
FIGURA 155 – QUEBRA DO PRIMEIRO VIDRO DA MONTRA	84
FIGURA 156 – OCORRÊNCIA DO FENÓMENO DE “FLASH-OVER”	84
FIGURA 157 – QUEBRA DO SEGUNDO VIDRO DA MONTRA	85
FIGURA 158 – PROPAGAÇÃO DO FUMO NA RUA DIREITA	85
FIGURA 159 – DESENVOLVIMENTO DO INCÊNDIO AOS 57,8 SEGUNDOS.....	86
FIGURA 160 – DESENVOLVIMENTO DO INCÊNDIO AOS 103,7 SEGUNDOS.....	86
FIGURA 161 – CAMPO DE TEMPERATURAS 3D – VISTA GERAL	87
FIGURA 162 – CAMPO DE TEMPERATURAS 3D – CORTE	87
FIGURA 163 – PLANO DE TEMPERATURAS À COTA 7,50 METROS	88
FIGURA 164 – PROPAGAÇÃO DE CHAMAS AO TELHADO	88
FIGURA 165 – LARGURA DO VÃO INFERIOR A 2 U.P.....	93
FIGURA 166 – LARGURA DO VÃO INFERIOR A 2 U.P.....	93

FIGURA 167 - LEVANTAMENTO LASER SCANNING E MODELO BIM DO EDIFÍCIO EXISTENTE – CASA DO MÉDICO (CAMPOS, 2018) .	100
FIGURA 168 – CASA DO MÉDICO – ANTES E DEPOIS DOS INCÊNDIOS DE OUTUBRO DE 2017 [4].....	100
FIGURA 169 – VISTA GERAL DOS PLANOS DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURAS E VISIBILIDADE	104
FIGURA 170 – PLANOS DE MEDIÇÃO À COTA 1,50 E 4,00 METROS	104
FIGURA 171 – PLANOS DE MEDIÇÃO À COTA 5,50 E 7,50 METROS	105
FIGURA 172 – PLANOS DE MEDIÇÃO À COTA 11,50 METROS	105
FIGURA 173 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s	106
FIGURA 174 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s	106
FIGURA 175 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s	106
FIGURA 176 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s	106
FIGURA 177 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s.....	106
FIGURA 178 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s.....	106
FIGURA 179 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s.....	106
FIGURA 180 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s.....	106
FIGURA 181 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s.....	107
FIGURA 182 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s.....	107
FIGURA 183 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 500 s.....	107
FIGURA 184 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 600 s.....	107
FIGURA 185 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s	107
FIGURA 186 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s	107
FIGURA 187 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s	107
FIGURA 188 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s	107
FIGURA 189 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s.....	108
FIGURA 190 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s.....	108
FIGURA 191 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s.....	108
FIGURA 192 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s.....	108
FIGURA 193 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s.....	108
FIGURA 194 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s.....	108
FIGURA 195 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 500 s.....	108
FIGURA 196 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 600 s.....	108
FIGURA 197 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s	109
FIGURA 198 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s	109
FIGURA 199 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s	109
FIGURA 200 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s	109
FIGURA 201 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s.....	109
FIGURA 202 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s.....	109
FIGURA 203 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s.....	109
FIGURA 204 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s.....	109
FIGURA 205 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s.....	110
FIGURA 206 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s.....	110
FIGURA 207 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 500 s.....	110
FIGURA 208 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 600 s.....	110
FIGURA 209 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 5 s.....	110
FIGURA 210 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 25 s.....	110
FIGURA 211 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 50 s.....	110
FIGURA 212 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 75 s.....	110
FIGURA 213 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 100 s.....	111
FIGURA 214 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 200 s.....	111
FIGURA 215 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 300 s.....	111
FIGURA 216 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 400 s.....	111
FIGURA 217 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 500 s.....	111
FIGURA 218 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 600 s.....	111
FIGURA 219 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 5 s.....	111
FIGURA 220 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 25 s.....	111
FIGURA 221 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 50 s.....	112
FIGURA 222 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 75 s.....	112

FIGURA 223 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 100 s	112
FIGURA 224 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 125 s	112
FIGURA 225 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 150 s	112
FIGURA 226 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 200 s	112
FIGURA 227 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 300 s	112
FIGURA 228 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 400 s	112
FIGURA 229 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 500 s	113
FIGURA 230 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 600 s	113
FIGURA 231 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 5 s	113
FIGURA 232 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 25 s	113
FIGURA 233 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 50 s	113
FIGURA 234 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 75 s	113
FIGURA 235 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 100 s	113
FIGURA 236 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 125 s	113
FIGURA 237 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 150 s	114
FIGURA 238 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 200 s	114
FIGURA 239 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 300 s	114
FIGURA 240 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 400 s	114
FIGURA 241 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 500 s	114
FIGURA 242 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 600 s	114
FIGURA 243 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s	115
FIGURA 244 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s	115
FIGURA 245 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s	115
FIGURA 246 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s	115
FIGURA 247 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s	115
FIGURA 248 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s	115
FIGURA 249 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s	115
FIGURA 250 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s	115
FIGURA 251 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s	116
FIGURA 252 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s	116
FIGURA 253 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 500 s	116
FIGURA 254 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 600 s	116
FIGURA 255 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s	116
FIGURA 256 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s	116
FIGURA 257 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s	116
FIGURA 258 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s	116
FIGURA 259 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s	117
FIGURA 260 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s	117
FIGURA 261 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s	117
FIGURA 262 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s	117
FIGURA 263 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s	117
FIGURA 264 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s	117
FIGURA 265 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 500 s	117
FIGURA 266 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 600 s	117
FIGURA 267 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s	118
FIGURA 268 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s	118
FIGURA 269 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s	118
FIGURA 270 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s	118
FIGURA 271 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s	118
FIGURA 272 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s	118
FIGURA 273 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s	118
FIGURA 274 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s	118
FIGURA 275 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s	119
FIGURA 276 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s	119
FIGURA 277 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 500 s	119
FIGURA 278 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 600 s	119

FIGURA 279 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 5 s.....	119
FIGURA 280 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 25 s.....	119
FIGURA 281 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 50 s.....	119
FIGURA 282 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 75 s.....	119
FIGURA 283 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 100 s.....	120
FIGURA 284 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 125 s.....	120
FIGURA 285 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 150 s.....	120
FIGURA 286 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 200 s.....	120
FIGURA 287 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 300 s.....	120
FIGURA 288 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 400 s.....	120
FIGURA 289 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 500 s.....	120
FIGURA 290 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 600 s.....	120
FIGURA 291 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 5 s.....	121
FIGURA 292 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 25 s.....	121
FIGURA 293 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 50 s.....	121
FIGURA 294 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 75 s.....	121
FIGURA 295 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 100 s.....	121
FIGURA 296 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 125 s.....	121
FIGURA 297 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 150 s.....	121
FIGURA 298 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 200 s.....	121
FIGURA 299 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 300 s.....	122
FIGURA 300 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 400 s.....	122
FIGURA 301 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 500 s.....	122
FIGURA 302 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 600 s.....	122
FIGURA 303 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 5 s.....	122
FIGURA 304 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 25 s.....	122
FIGURA 305 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 50 s.....	122
FIGURA 306 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 75 s.....	122
FIGURA 307 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 100 s.....	123
FIGURA 308 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 125 s.....	123
FIGURA 309 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 150 s.....	123
FIGURA 310 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 200 s.....	123
FIGURA 311 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 300 s.....	123
FIGURA 312 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 400 s.....	123
FIGURA 313 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 500 s.....	123
FIGURA 314 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 600 s.....	123
FIGURA 315 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s.....	124
FIGURA 316 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s.....	124
FIGURA 317 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s.....	124
FIGURA 318 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s.....	124
FIGURA 319 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s.....	124
FIGURA 320 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s.....	124
FIGURA 321 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s.....	125
FIGURA 322 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s.....	125
FIGURA 323 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s.....	125
FIGURA 324 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s.....	125
FIGURA 325 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 500 s.....	125
FIGURA 326 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 600 s.....	125
FIGURA 327 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s.....	125
FIGURA 328 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s.....	125
FIGURA 329 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s.....	126
FIGURA 330 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s.....	126
FIGURA 331 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s.....	126
FIGURA 332 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s.....	126
FIGURA 333 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s.....	126
FIGURA 334 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s.....	126

FIGURA 335 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s	126
FIGURA 336 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s	126
FIGURA 337 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 500 s	127
FIGURA 338 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 600 s	127
FIGURA 339 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s	127
FIGURA 340 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s	127
FIGURA 341 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s	127
FIGURA 342 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s	127
FIGURA 343 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s	127
FIGURA 344 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s	127
FIGURA 345 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s	128
FIGURA 346 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s	128
FIGURA 347 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s	128
FIGURA 348 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s	128
FIGURA 349 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 500 s	128
FIGURA 350 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 600 s	128
FIGURA 351 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 5 s	128
FIGURA 352 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 25 s	128
FIGURA 353 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 50 s	129
FIGURA 354 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 75 s	129
FIGURA 355 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 100 s	129
FIGURA 356 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 125 s	129
FIGURA 357 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 150 s	129
FIGURA 358 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 200 s	129
FIGURA 359 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 300 s	129
FIGURA 360 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 400 s	129
FIGURA 361 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 500 s	130
FIGURA 362 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 600 s	130
FIGURA 363 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 5 s	130
FIGURA 364 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 25 s	130
FIGURA 365 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 50 s	130
FIGURA 366 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 75 s	130
FIGURA 367 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 100 s	130
FIGURA 368 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 125 s	130
FIGURA 369 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 150 s	131
FIGURA 370 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 200 s	131
FIGURA 371 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 300 s	131
FIGURA 372 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 400 s	131
FIGURA 373 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 500 s	131
FIGURA 374 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 600 s	131
FIGURA 375 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 5 s	131
FIGURA 376 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 25 s	131
FIGURA 377 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 50 s	132
FIGURA 378 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 75 s	132
FIGURA 379 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 100 s	132
FIGURA 380 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 125 s	132
FIGURA 381 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 150 s	132
FIGURA 382 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 200 s	132
FIGURA 383 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 300 s	132
FIGURA 384 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 400 s	132
FIGURA 385 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 500 s	133
FIGURA 386 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 600 s	133
FIGURA 387 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s	133
FIGURA 388 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s	133
FIGURA 389 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s	133
FIGURA 390 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s	133

FIGURA 391 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s.....	134
FIGURA 392 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s.....	134
FIGURA 393 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s.....	134
FIGURA 394 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s.....	134
FIGURA 395 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s.....	134
FIGURA 396 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s.....	134
FIGURA 397 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 500 s.....	134
FIGURA 398 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 600 s.....	134
FIGURA 399 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s.....	135
FIGURA 400 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s.....	135
FIGURA 401 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s.....	135
FIGURA 402 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s.....	135
FIGURA 403 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s.....	135
FIGURA 404 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s.....	135
FIGURA 405 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s.....	135
FIGURA 406 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s.....	135
FIGURA 407 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s.....	136
FIGURA 408 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s.....	136
FIGURA 409 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 500 s.....	136
FIGURA 410 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 600 s.....	136
FIGURA 411 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s.....	136
FIGURA 412 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s.....	136
FIGURA 413 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s.....	136
FIGURA 414 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s.....	136
FIGURA 415 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s.....	137
FIGURA 416 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s.....	137
FIGURA 417 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s.....	137
FIGURA 418 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s.....	137
FIGURA 419 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s.....	137
FIGURA 420 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s.....	137
FIGURA 421 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 500 s.....	137
FIGURA 422 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 600 s.....	137
FIGURA 423 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 5 s.....	138
FIGURA 424 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 25 s.....	138
FIGURA 425 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 50 s.....	138
FIGURA 426 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 75 s.....	138
FIGURA 427 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 100 s.....	138
FIGURA 428 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 125 s.....	138
FIGURA 429 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 150 s.....	138
FIGURA 430 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 200 s.....	138
FIGURA 431 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 300 s.....	139
FIGURA 432 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 400 s.....	139
FIGURA 433 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 500 s.....	139
FIGURA 434 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 600.....	139
FIGURA 435 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 5 s.....	139
FIGURA 436 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 25 s.....	139
FIGURA 437 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 50 s.....	139
FIGURA 438 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 75 s.....	139
FIGURA 439 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 100 s.....	140
FIGURA 440 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 125 s.....	140
FIGURA 441 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 150 s.....	140
FIGURA 442 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 200 s.....	140
FIGURA 443 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 300 s.....	140
FIGURA 444 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 400 s.....	140
FIGURA 445 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 500 s.....	140
FIGURA 446 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 600 s.....	140

FIGURA 447 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 5 s	141
FIGURA 448 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 25 s	141
FIGURA 449 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 50 s	141
FIGURA 450 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 75 s	141
FIGURA 451 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 100 s	141
FIGURA 452 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 125 s	141
FIGURA 453 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 150 s	141
FIGURA 454 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 200 s	141
FIGURA 455 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 300 s	142
FIGURA 456 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 400 s	142
FIGURA 457 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 500 s	142
FIGURA 458 – PLANO DE VISIBILIDADE T = 600 s	142
FIGURA 459 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s	142
FIGURA 460 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s	142
FIGURA 461 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s	142
FIGURA 462 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s	142
FIGURA 463 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s	143
FIGURA 464 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s	143
FIGURA 465 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s	143
FIGURA 466 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s	143
FIGURA 467 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s	143
FIGURA 468 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s	143
FIGURA 469 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s	143
FIGURA 470 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s	143
FIGURA 471 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s	144
FIGURA 472 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s	144
FIGURA 473 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s	144
FIGURA 474 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s	144
FIGURA 475 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s	144
FIGURA 476 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s	144
FIGURA 477 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s	144
FIGURA 478 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s	144
FIGURA 479 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s	145
FIGURA 480 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s	145
FIGURA 481 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s	145
FIGURA 482 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s	145
FIGURA 483 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s	145
FIGURA 484 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s	145
FIGURA 485 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s	145
FIGURA 486 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s	145
FIGURA 487 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s	146
FIGURA 488 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s	146
FIGURA 489 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s	146
FIGURA 490 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s	146
FIGURA 491 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s	146
FIGURA 492 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s	146
FIGURA 493 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s	146
FIGURA 494 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s	146
FIGURA 495 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s	147
FIGURA 496 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s	147
FIGURA 497 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s	147
FIGURA 498 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s	147
FIGURA 499 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 5 s	147
FIGURA 500 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 25 s	147
FIGURA 501 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 50 s	147
FIGURA 502 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 75 s	147

FIGURA 503 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 100 s.....	148
FIGURA 504 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 125 s.....	148
FIGURA 505 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 150 s.....	148
FIGURA 506 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 200 s.....	148
FIGURA 507 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 300 s.....	148
FIGURA 508 – PLANO DE TEMPERATURAS T = 400 s.....	148

ABREVIATURAS

2D – Duas Dimensões

3D – Três Dimensões

ANPC – Autoridade Nacional de Proteção Civil

CFD – Computational Fluid Dynamics (Dinâmica Computacional de Fluidos)

CAD – Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)

CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport

FDS – Fire Dynamics Simulator (Simulação Dinâmica do Fogo)

HRR – Heat Release Rate (Taxa de Libertação de Calor)

HRRPUA – Heat Release Rate per Unit Area (Taxa de Libertação de Calor por Unidade de Área)

IA – Inteligência Artificial

NIST – National Institute of Standards and Technology

SCIE – Segurança Contra Incêndio em Edifícios

UT – Utilização-Tipo

UP – Unidade de Passagem

R – Capacidade de suporte de carga

E – Estanquidade a chamas e gases quentes

I – Isolamento térmico

REI – Suporte, Estanquidade e Isolamento

EI – Estanquidade e Isolamento

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Nos anos mais recentes, em Portugal, tem havido um crescimento apreciável da reabilitação de edifícios antigos, principalmente nos centros históricos e, devido a esta nova realidade, a temática da segurança contra incêndios deve ter um relevo e importância ainda maior.

A Segurança Contra Incêndios em Edifícios (SCIE) é uma preocupação constante e cada vez mais exigente. Tem como objetivo eliminar a ocorrência do incêndio, no entanto, se por qualquer razão, o incêndio se deflagre, então o edifício deve ter medidas de combate ao incêndio implementadas, que permitam uma evacuação segura dos ocupantes até ao exterior antes que as condições no seu interior sejam insustentáveis, bem como limitar a sua propagação e minimizar as suas consequências.

No entanto, na reabilitação de edifícios antigos existe uma dificuldade apreciável em satisfazer algumas das exigências legislativas atuais que é sobretudo orientada para a construção nova, tornando-se muitas vezes inadequada a sua aplicação aos edifícios antigos. Torna-se ainda mais difícil a implementação de medidas prescritivas em edifícios antigos cuja arquitetura não deve ou não pode ser alterada sem que afete o seu valor histórico e cultural.

O Decreto – Lei nº 224/2015, de 9 de outubro, procede a várias alterações ao Decreto – Lei nº 220/2008, de 12 de Novembro, que estabelece o regime jurídico de segurança contra incêndios em edifícios. Uma das principais alterações prende-se com a permissão da sua adequada aplicação a edifícios existentes, mais concretamente no artigo nº 14 – Edifícios e recintos existentes, indicando, nestes casos, a possibilidade de serem feitos estudos baseados em métodos de análise de risco, de ensaios ou modelos de cálculo baseados em novas tecnologias aprovadas pela ANPC.

Assim, com a referida alteração, é permitida a análise baseada no desempenho, sendo fulcral para o estudo em edifícios antigos, permitindo avaliar, quando as características arquitetónicas não permitirem a satisfação integral da legislação em vigor, o cumprimento das condições mínimas de segurança e evacuação dos ocupantes.

Atualmente, devido à evolução do desempenho do hardware e software, é possível uma abordagem com base no desempenho em edifícios face a uma situação de incêndio com recurso a software de cálculo de dinâmica computacional de fluidos (CFD – Computational Fluid Dynamics).

1.2. Objetivos da dissertação

Esta dissertação tem como objetivo, a análise do risco de incêndio de um edifício antigo, mais concretamente, o antigo Orfeon da cidade de Viseu, localizado no centro histórico, na rua Direita e a influência da sua ocorrência nos edifícios vizinhos localizados na mesma rua.

Para este trabalho é feita uma avaliação do edifício com base no desempenho face a ocorrência de um incêndio recorrendo ao programa Pyrosim que é um software FDS (Fire Dynamics Simulator) que simula, no modelo tridimensional representativo do edifício em estudo, a propagação de chamas, temperaturas e fumos no seu interior. São efetuadas várias simulações com e sem medidas de combate a incêndio que permitem fazer comparações e avaliar a influência das medidas implementadas e assim concluir qual a melhor solução.

Com o mesmo modelo tridimensional, é também efetuado um estudo dos caminhos de evacuação das pessoas com recurso ao programa Pathfinder.

É feita também uma avaliação prescritiva com base na legislação de segurança contra incêndios em edifícios, em vigor à data da elaboração deste trabalho.

1.3. Estrutura da dissertação

O presente trabalho está estruturado em oito capítulos:

Capítulo 1 – Introdução

O primeiro capítulo contém o enquadramento e objetivos.

Capítulo 2 – Estado da Arte

No segundo capítulo são apresentados outros trabalhos cujo foco foi a avaliação do risco de incêndio baseado no desempenho através de programas de cálculo de dinâmica computacional de fluidos.

Capítulo 3 – Caracterização de Incêndios

No terceiro capítulo é feita uma exposição dos conceitos que caracterizam e influenciam a evolução de incêndios e que são considerados no programa de simulação dinâmica do fogo: pirólise, combustão, mecanismos de transferência de calor, taxa de libertação de calor, propagação, incêndios de compartimento, curvas de projeto e propriedades dos materiais a elevadas temperaturas.

Capítulo 4 – Caracterização do edifício do antigo Orfeão de Viseu e a Rua Direita

No quarto capítulo é apresentado o edifício alvo de estudo e a sua envolvente, mais concretamente a Rua Direita e os edifícios com fachada principal virados para a referida rua.

Capítulo 5 – Modelação e simulação computacional de incêndio

No quinto capítulo é exposto o trabalho de modelação do incêndio desenvolvido com recurso a um modelo tridimensional aplicado no software de simulação de incêndios Pyrosim e as opções adotadas como a dimensão da malha, os materiais e suas características, medidas de combate a incêndio entre outros itens importantes. Nos mesmos moldes, é feita a exposição da modelação de evacuação de emergência com recurso ao programa Pathfinder.

Capítulo 6 – Aplicação, análise e apresentação de resultados

No sexto capítulo é demonstrada a aplicação dos programas Pyrosim e Pathfinder ao modelo representativo do edifício do antigo Orfeão de Viseu e a edifícios vizinhos localizados na rua Direita e análise dos resultados dos modelos propostos.

Capítulo 7 – Avaliação prescritiva segundo a legislação SCIE em vigor

No sétimo capítulo é feita uma avaliação prescritiva do edifício em estudo e sua envolvente segundo a legislação de Segurança Contra Incêndios em Edifícios, actualmente em vigor.

Capítulo 8 – Conclusões e sugestões para desenvolvimentos

No oitavo capítulo são expostas as conclusões e sugestões para futuros trabalhos a desenvolver.

2. ESTADO DA ARTE

Apresenta-se de seguida um estado da arte sobre a avaliação do risco de incêndio baseado no desempenho com recurso a programas de cálculo de dinâmica computacional de fluidos. Nesse sentido, foram identificados os trabalhos mais relevantes neste domínio, apresentando-se um sumário crítico dos mesmos.

Capote Abreu *et al.* (2005)

Neste trabalho apresentam-se os resultados dois tipos de modelação computacional de incêndios: modelos de zona e modelos de campo. Ambos foram aplicados numa situação de incêndio num edifício industrial e num edifício de escritórios. Para os modelos de zona recorreram-se aos softwares Ozone e CFAST. Para os modelos de campo, que são considerados modelos de dinâmica computacional de fluidos, recorreu-se ao software Fire Dynamics Simulator (FDS). Foram criados os três modelos e comparados os resultados de variações de temperatura em vários pontos. Os autores verificaram que através dos modelos de campo são obtidos resultados mais rigorosos porque a malha de cálculo da zona em análise permite a divisão em unidades elementares num número bastante superior.

Grosshandler *et al.* (2005)

Grosshandler *et al.* (2005) foram responsáveis por um relatório, posteriormente divulgado pelo NIST, sobre o incêndio no clube noturno The Station, em West Warwick, Estados Unidos, em Fevereiro de 2003. A causa deste incêndio foi a ignição do isolamento acústico presente nas paredes e tecto do palco do referido clube, desencadeado por dispositivos pirotécnicos ativados durante a atuação de uma banda e que resultou em 100 vítimas mortais e 115 feridos. No âmbito do relatório foram realizados ensaios à escala real do local do início do incêndio, mais concretamente o palco, plateia e bastidores, que permitiram observar o desenvolvimento e propagação das chamas e fumos. Para além disso, o evento foi registado em gravações vídeos o que permitiu, juntamente com os ensaios, construir modelos de campo desenvolvidos no software FDS.

De referir que, à data do evento, o edifício não estava equipado com sprinklers. Desta forma, nos modelos de campo, foram feitas simulações com e sem sprinklers. Com a comparação dos resultados dos ensaios à escala real e das simulações nos modelos de campo, concluiu-se que a atuação de sprinklers no local, naquela situação, teria permitido a criação de melhores condições de evacuação para os ocupantes, com temperaturas inferiores e melhores níveis de oxigénio, para além de uma mais rápida extinção das chamas.

Rein *et al.* (2007; 2009)

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de estabelecer o estado da arte da modelação de incêndio através de uma abordagem interlaboratorial, denominada por round-robin. No decorrer do trabalho foi efetuada uma análise de um mesmo cenário por várias equipas independentes, obtendo-se conclusões através da comparação dos resultados. O cenário de incêndio alvo de estudo foi o de um edifício de 23 pisos, em Glasgow, Escócia, em Julho de 2006. O ensaio de grande escala foi denominado de Dalmarnock Fire Test One. Antes da realização do ensaio, foi desenvolvido o estudo round-robin em que cada uma das sete equipas simulou o desenvolvimento do incêndio, com base nos mesmos dados relativos à fonte de ignição, combustível, geometria dos compartimentos e condições de ventilação. Foram efetuadas dez simulações diferentes em que oito foram realizadas com recurso a modelos de campo desenvolvidos no software FDS e os restantes com modelos de zona desenvolvidos no software CFAST.

Após a realização do ensaio Dalmarnock Fire Test One, foram comparados os resultados obtidos com os resultados das modelações atrás referidas. Os dados obtidos nas simulações relativamente ao comportamento do fogo, taxas de libertação de calor e temperaturas foram muito dispersos, não sendo possível estabelecer uma relação. No entanto, os autores do estudo round-robin referiram que as simulações virtuais poderiam ter aplicação na resolução de problemas de engenharia, se for seguida uma metodologia suficientemente conservativa aplicando fatores de segurança apropriados e utilizando previsões com graus de previsão grosseiros.

Jahn *et al.* (2007; 2011)

Este estudo foi desenvolvido com base na modelação após a fase de propagação do ensaio Dalmarnock Fire Test One, com recurso ao software FDS e com os resultados obtidos no ensaio: carga de incêndio, traçado do compartimento, temperaturas, fluxos de calor e gravações vídeo. O objetivo era demonstrar a possibilidade de reprodução do comportamento do fogo de forma satisfatória, desde que haja um número de dados de entrada (inputs) para a realização da simulação. Até essa data nenhum ensaio tinha obtido resultados de medições experimentais com resolução espacial tão elevada e nenhuma modelação tinha disposto de uma quantidade de dados com esta magnitude. Foram comparados os resultados do ensaio com as simulações e efetuados ajustes, recorrendo à alteração dos parâmetros de entrada com maior incerteza. No entanto, concluiu-se que, apesar da disposição de um conjunto elevado de dados obtidos no ensaio, não é fácil a reprodução suficientemente aproximada do desenvolvimento do incêndio. Apesar das condicionantes, os autores defenderam que simulações baseadas nos resultados das medições do ensaio permitem a reprodução de cenários de incêndio com aproximação, qualitativa e quantitativa, à realidade.

Kolaitis *et al.* (2011)

O estudo desenvolvido por Kolaitis *et al.* (2011) baseou-se na simulação de um incêndio numa moradia familiar de dois pisos recorrendo ao software FDS, com o objetivo de averiguação a capacidade do software para a simulação, com eficácia, dos campos de escoamento de temperatura, tendo em conta as propriedades detalhadas dos materiais aplicados. Avaliou-se a resistência ao fogo, com base nas temperaturas medidas nas paredes, para duas soluções construtivas: estrutura metálica com paredes de placa de gesso e estrutura em betão armado com paredes em alvenaria de tijolo. Os resultados obtidos em termos de concentração de gás tóxico e de produção de fumo permitiram a análise de risco para os ocupantes em caso de incêndio. Provou-se a capacidade qualitativa do software para simulação de propagação de incêndio num cenário realista. No entanto, os autores recomendaram a realização de outros estudos para validação da precisão quantitativa dos resultados.

Mariani e Silva (2011)

Neste trabalho foi realizada a reprodução, com recurso ao software FDS, de um incêndio ocorrido numa habitação, em dezembro de 2008, na cidade de Samambaia, Distrito Federal, Brasil. A madeira é o material constituinte predominante. Foi feita a comparação do registo visual do material carbonizado após a simulação, com as fotografias dos vestígios resultantes do incêndio, tendo-se verificado semelhanças satisfatórias, concluindo-se da capacidade do programa na obtenção de dados relevantes na simulação de incêndios em estruturas.

Dolvitsch *et al.* (2011)

Dolvitsch *et al.* (2011) reproduziram o incêndio no centro comercial Shopping Total em Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, através de simulação com recurso ao software FDS. Utilizou-se o software Pyrosim, que permite a conceção de modelos para o FDS através

de uma interface gráfica. O trabalho teve resultados com qualidade no que diz respeito a distribuição de temperaturas e propagação de fumos ao longo do edifício. Concluiu-se que, com dados sobre o estado inicial da estrutura, é possível a criação de modelos representativos de incêndios de grandes dimensões com aproximação razoável à realidade do evento ocorrido.

Glasa *et al.* (2012)

Este trabalho apresenta a modelação de um incêndio numa sala de cinema, com recurso ao software FDS através do programa Pyrosim. Os incêndios em salas de espetáculos, ou outros locais similares, têm uma probabilidade alta de perigosidade e resultados graves, devido ao elevado número de pessoas em conjugação com a toxicidade do fumo. Simulou-se o primeiro minuto do incêndio, devido a ser o período temporal mais crítico na evacuação dos espectadores em condições de segurança. Os autores efetuaram uma análise da propagação do fogo e do fumo e identificaram as zonas de maior risco na sala.

Hurtado *et al.* (2013)

Hurtado *et al.* (2013) efetuaram a modelação, com recurso a FDS, de um ensaio ao fogo realizado num apartamento representativo de uma residência de baixo custo enquadrada num programa do governo brasileiro. Geralmente, este tipo de habitações é caracterizado pela elevada densidade de pessoas e bens (as áreas dos apartamentos são menores). O modelo fez uma simulação cujos resultados das distribuições de temperaturas nos diversos compartimentos do apartamento se verificaram ser aproximados aos resultados do ensaio.

Sekret *et al.* (2013)

Neste trabalho são avaliados os resultados de dois ensaios ao fogo num edifício, em escala real, na cidade de Bytom, Polónia. O objetivo destes ensaios foi a averiguação das temperaturas dos gases e as condições de toxicidade, em caso de incêndio, para habitações que sofreram obras de remodelação para melhoria de eficiência energética. O primeiro ensaio foi realizado num apartamento bastante isolado, enquanto o segundo foi realizado num apartamento com as aberturas e fugas normalmente observadas nas habitações. Realizaram-se simulações, antes e depois dos ensaios, com recurso ao programa FDS, tendo em vista a validação da capacidade do software para modelação de incêndios em condições de baixa ventilação. Observou-se que as temperaturas na camada superior, junto ao teto, onde o gás é mais quente, obtidas na simulação apresentaram valores inferiores aos registados nos ensaios, com um desfasamento de cerca de 25% na fase das temperaturas de pico e, posteriormente, de aproximadamente 50% quando já tinha sido consumido grande parte do oxigénio. Na camada a um metro acima do solo, onde se verificam as temperaturas mais frias do gás, o software sobrestimou as temperaturas. Os autores explicaram que estes desfasamentos talvez pudessem ter sido evitados com a introdução no modelo de informação com maior precisão relativamente à combustão e de uma utilização de malha de cálculo com resolução superior. Concluíram da possibilidade de utilização da modelação por computação dinâmica de fluidos (CFD) na engenharia de segurança contra incêndio como ferramenta para previsão de temperaturas em elementos estruturais expostos ao fogo, alertando para o rigor na aplicação deste método em situações de ventilação reduzida.

Yuen *et al.* (2014)

Yuen *et al.* (2014) efetuaram um ensaio ao fogo numa divisão mobilada de uma habitação abandonada na cidade de Parkes, Austrália, com o programa FDS. Este trabalho teve como objectivo a realização de simulações de cenários de incêndio para um programa de formação para bombeiros tendo em vista uma melhor compreensão do desenvolvimento do fogo num compartimento com determinada carga de incêndio. Foi obtida a validação do modelo pela

comparação dos seus resultados com as medições dos sensores de temperatura, e também por comparação da simulação do fogo e do fumo com as imagens obtidas das gravações vídeos do ensaio. Verificou-se a capacidade do software para a obtenção de estimativas razoáveis de temperatura e fluxos de calor, desde que sejam corretamente estabelecidas as características de reação e do material combustível. Concluiu-se que a modelação por FDS pode ser considerada um método fiável na reconstrução de incêndios e a simulação desenvolvida foi aceite como ferramenta de apoio à formação de bombeiros.

Lorenzi *et al.* (2017)

Neste estudo foi desenvolvida a modelação, com recurso ao software FDS, através do programa Pyrosim, de um incêndio num edifício multifamiliar de cinco pisos, com quatro apartamentos por piso, construído em 2013, representativo de um condomínio com vinte e cinco edifícios idênticos. O objetivo deste trabalho foi a verificação do impacto da implementação de medidas de combate ao incêndio, como a exaustão mecânica e portas corta-fogo, ambas implementadas na caixa de escada. Foram realizadas simulações com e sem as medidas implementadas e efetuaram-se as comparações. Concluiu-se que a exaustão mecânica teve resultados positivos na remoção dos fumos. No entanto, alertaram para o correto dimensionamento do caudal de exaustão, pois verificou-se o rápido desenvolvimento das chamas e temperaturas superiores na fase inicial do incêndio devido à oxigenação causado pelo excessivo caudal de exaustão. Relativamente às portas corta-fogo, os resultados foram excelentes, verificando-se a eficácia da contenção do fogo, permitindo a evacuação dos ocupantes pela caixa de escada em condições de segurança.

3. CARACTERIZAÇÃO DE INCÊNDIOS

3.1. Definição de fogo

O fogo é um fenómeno de reação química exotérmica designada de combustão, que liberta energia sob a forma de luz e calor e que resulta da interação de três componentes: combustível, comburente e energia. Os três componentes têm de estar presentes para que ocorra a combustão (Tetraedro do Fogo) (Figura 1) (Correia, 2013).



Figura 1 - Tetraedro do Fogo [1]

De seguida apresentam-se as definições de cada componente:

Combustível: material que, no estado líquido, sólido ou gasoso, alimenta a combustão, e que durante o processo se oxida (Exemplos: Madeira, papel, tecido, etc.);

Comburente: elemento ou composto químico que permite a combustão (normalmente oxigénio);

Energia: energia sob a forma de calor necessária para provocar a combustão de um combustível na presença de um comburente.

A combinação dos componentes descritos origina uma reação em cadeia, que se autoalimenta enquanto existirem os três elementos, formando-se assim o tetraedro do fogo, que resulta em transmissão de calor, chamas, gases tóxicos e fumos.

3.2. Estágios de desenvolvimento do fogo

O desenvolvimento do fogo inclui as seguintes fases (Figura 2) (Correia, 2013):

Eclosão ou início: Período inicial em que se dá a ignição do fogo, ainda a temperaturas baixas, e a forma como se inicia depende de vários fatores como o tipo de combustível (exemplos: uma vela, onde o fogo tem um início lento, ou uma explosão tendo o fogo um início rápido).

Desenvolvimento / Propagação: Fase em que o fogo vai propagar e espalhar-se para outros ambientes, objetos e locais. Neste estágio, o fogo aquece gradualmente todos os materiais

combustíveis presentes e quando atingem o seu ponto de ignição ocorrerá uma queima instantânea desses produtos, provocando uma explosão e ficando toda a área envolta pelas chamas. O fenómeno descrito é conhecido por “Flashover”. A propagação do fogo ocorre por condução, convecção ou radiação. A presença e o tipo de materiais no local do incêndio podem ter influência no aumento ou diminuição do efeito da propagação do fogo (materiais inflamáveis como gasolina, papel ou inertes como paredes de betão, revestimentos em pedra ou cerâmica).

Combustão contínua: Fase em que ocorre a reação em cadeia, de forma constante, ou seja, a libertação de calor é suficiente para fazer com que outros objetos próximos entrem em combustão. Este fenómeno proporciona-se enquanto existir combustível e comburente.

Redução do fogo / Queda de intensidade: Fase de declínio em que a energia irradiada sob a forma de calor não é suficiente para a continuidade da combustão perdendo, desta forma, “força” e entrando em extinção. A causa para a extinção deve-se ao consumo de quase todo o material combustível existente no local. De referir que neste estágio a atmosfera do compartimento encontra-se preenchida por vapores combustíveis / gases explosivos, com temperaturas próxima do ponto de ignição, e a entrada de novo comburente, como por exemplo ar fresco, proporcionará uma explosão. Este fenómeno designa-se de “Backdraft”.

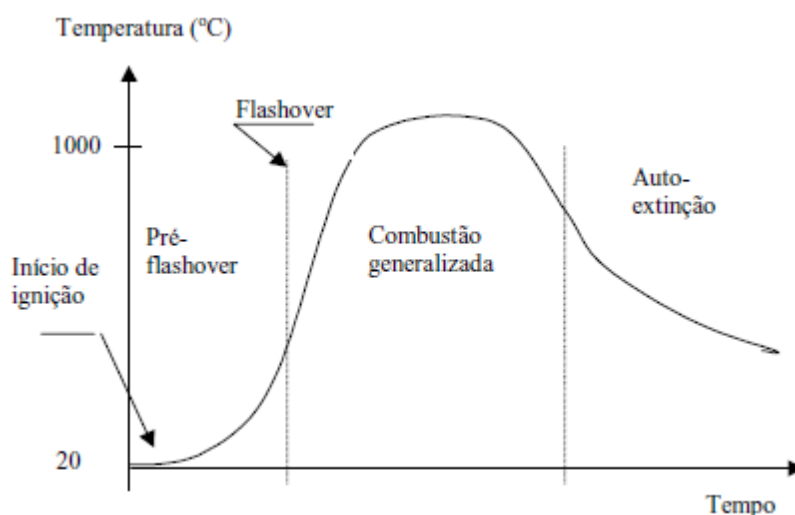


Figura 2 - Curva do Incêndio (Costa, 2001)

3.3. Propagação do Fogo

A propagação do fogo processa-se através de mecanismos de transferência de calor, quando existem diferenças de temperaturas entre dois corpos em contacto ou em zonas diferentes do mesmo corpo, podendo ocorrer das seguintes formas (Figura 3) (Correia, 2013):

Condução: o calor propaga-se diretamente pelo interior do corpo ou pelo contacto entre dois corpos e é um mecanismo de transferência de energia cinética entre diferentes zonas do corpo com diferenças de temperatura, no sentido da temperatura mais elevada para a mais baixa. De referir que quanto maior a condutibilidade térmica do material, maior será a velocidade de propagação do calor (exemplos: aquecimento de uma barra metálica, aquecimento de uma colher metálica pousada numa panela quente);

Convecção: são transferências de calor que ocorrem no interior de um fluido em estado líquido ou gasoso que resultam dos movimentos do fluido designados por “correntes de convecção”, que são provocadas pela diferença de densidade entre o fluido mais quente e o mais frio (exemplos: aquecimento de líquidos numa panela, frigorífico, ar condicionado, aquecedores);

Irradiação: o calor transmite-se pela emissão contínua de calor sob a forma de radiação infravermelha que se propaga para todas as direções, sem suporte material, através do espaço (exemplos: energia solar, painéis solares, fogueira).



Figura 3 - Ilustração das três formas de transferências de calor [2]

3.4. Pontos de temperatura

O emprego de medidas de combate ao incêndio depende das características físicas e químicas dos materiais combustíveis existentes no local da propagação. No âmbito da prevenção e combate ao incêndio, de forma a prevenir o início ou evitar a propagação do fogo, é fundamental o conhecimento das características e propriedades dos combustíveis, mais concretamente os pontos de temperatura dos materiais combustíveis líquidos, gasosos ou sólidos e os seus comportamentos perante o calor (Correia, 2013).

Podem ser identificados os seguintes pontos de temperatura:

Ponto de Fulgor: temperatura em que se dá o início da libertação de vapores do combustível, devido ao contacto com uma fonte de calor externa (chama exposta), no entanto as chamas não se sustentam por não existirem vapores em quantidade suficiente para o efeito;

Ponto de Combustão: temperatura mínima para que a queima dos vapores libertados do material combustível, em contacto com uma fonte externa de calor, seja constante, ou seja, que as chamas se mantenham;

Temperatura de Ignição: temperatura mínima necessária para que os vapores combustíveis libertados se inflamem espontaneamente, sem a influência de fonte externa de calor.

Com o conhecimento das características descritas para cada material combustível é possível a implementação de medidas de prevenção e combate ao incêndio.

3.5. Classificação dos Incêndios

O combate ao incêndio exige o conhecimento do tipo de fogo e respetiva classe, para tomar decisões relativamente às medidas adequadas de prevenção e combate. Os incêndios são classificados de acordo com o tipo de material que sofre a combustão (Correia, 2013).

De seguida são apresentadas as classificações dos incêndios:

CLASSE A – Fogos sólidos

Incêndios resultantes da combustão de materiais sólidos como papel, madeira, tecido ou lixo, que quando queimam deixam brasas e cinzas.

Para a extinção deste tipo de incêndio recorre-se ao agente extintor água para reduzir a temperatura do material em combustão.

CLASSE B – Fogos líquidos

Incêndios em combustíveis líquidos ou sólidos liquidificáveis comuns e inflamáveis, como gasolina, óleos, querosene, álcool, tintas, vernizes, ceras, plásticos, que quando queimam não deixam resíduos.

A extinção deste tipo de incêndio exige o recurso ao método de abafamento (retirada do oxigénio no local)

CLASSE C – Equipamentos elétricos

Incêndios em equipamentos elétricos com energia elétrica ligada. Somente após a cessação da energia elétrica do local de incêndio em que o material continua em combustão, caracterizando um incêndio do tipo A, é que deve-se recorrer ao uso de água para a extinção. Não sendo possível a cessação de energia elétrica, a opção passa pelo recurso a agente extintor não condutor de eletricidade.

CLASSE D – Fogos em metais

Incêndios em metais pirofóricos (metais que queimam, como por exemplo o magnésio, sódio, titânio, potássio, alumínio em pó) que para a sua extinção exigem o recurso a agentes extintores especiais, que se fundem em contacto com o metal combustível formando uma capa que o isola da atmosfera interrompendo a combustão. Estes agentes extintores têm por base o cloreto de sódio, cloreto de bário ou grafite.

CLASSE E – Fogos em substâncias radioativas

Incêndios em substâncias radioativas (urânio, cobalto, cézio, rádio) cuja extinção exige a aplicação de um pó químico especial. Os agentes de combate ao incêndio devem estar munidos de equipamentos de proteção individual especiais para a radioatividade.

CLASSE K – Fogos em óleos

Incêndios que envolvem óleos animais ou vegetais e normalmente ocorrem em cozinhas.

3.6. Métodos de extinção e combate

Para promover a extinção do fogo, basta a remoção ou anulação de um dos elementos constituintes do tetraedro, nas seguintes formas ou medidas de combate ao incêndio (Correia, 2013):

Abafamento: Anulação da presença do comburente (oxigénio) no meio;

Arrefecimento: Diminuição da temperatura do combustível;

Supressão: Remoção ou isolamento do combustível em presença no meio;

Inibição: Aplicação/projeção de produtos químicos (pó, espuma, etc.).

4. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO DO ANTIGO ORFEÃO DE VISEU

O edifício, objeto de estudo, localiza-se no centro histórico de Viseu, mais propriamente na rua Direita, no entanto também tem acesso pela rua Senhora da Boa Morte. Foi construído no século XIX, sofreu um incêndio em 1926 e foi reconstruído poucos anos depois.



Figura 4 - Vista aérea do edifício do antigo Orfeão e sua envolvente [3]

O edifício é constituído por três pisos: térreo, primeiro piso e sótão. Os elementos principais que caracterizam o edifício são:

- Nas fachadas, paredes interiores e exteriores ao nível do piso térreo e paredes exteriores do primeiro piso, o elemento principal é a alvenaria de pedra (granito);



Figura 5 - Fachada Principal



Figura 6 - Paredes Interiores no piso térreo

- As paredes interiores do primeiro piso e paredes exteriores do sótão são construídas em tabique de madeira e argamassa de cal;

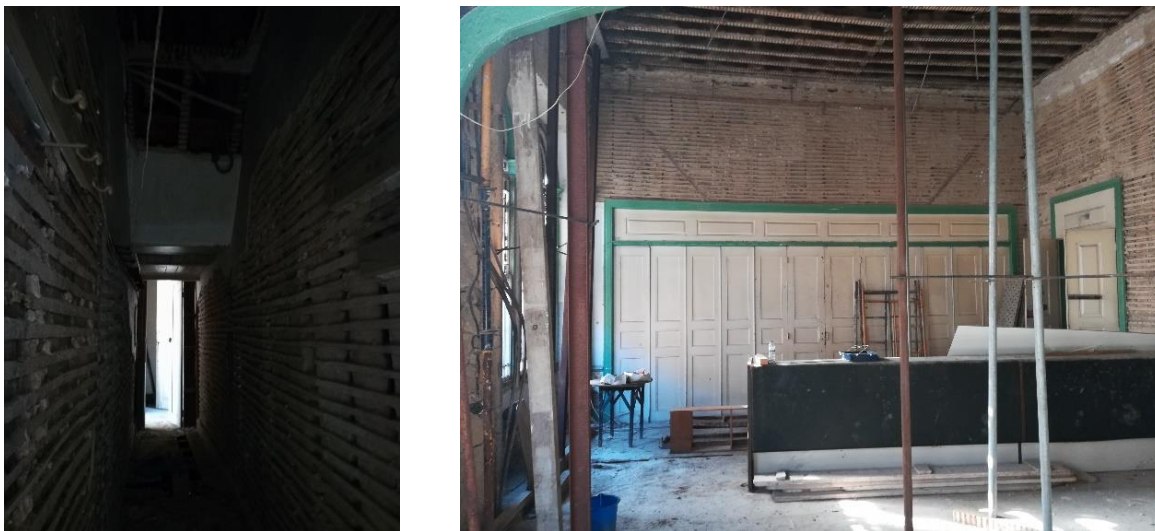


Figura 7 – Paredes Interiores no Primeiro Piso



Figura 8 – Paredes Exteriores no Sótão

- Pavimentos em pedra ou mosaicos hidráulicos no piso térreo e em madeira nos pisos superiores;



Figura 9 – Pavimentos em madeira no primeiro piso e sótão



Figura 10 – Pavimentos em pedra e mosaicos hidráulicos no piso térreo

- Cobertura com estrutura em madeira e telha cerâmica.



Figura 11 - Estrutura da cobertura em madeira



Figura 12 - Cobertura em telha cerâmica

Deste modo, os materiais presentes no edifício são:

- Granito;
- Argamassas de cal e gesso;
- Madeira;
- Materiais cerâmicos como a telha, mosaicos e ladrilhos decorativos, tanto no interior como na fachada;
- Elementos metálicos como guardas e acessórios;
- Vidro;
- Pinturas.

O edifício foi utilizado, a partir de dezembro de 1955 pelo Orfeão de Viseu para a realização de reuniões, espetáculos e eventos culturais, até ao ano de 2006, estando, até à data da realização deste trabalho, devoluto e em ruínas (Pereira Correia, 1954).

5. MODELAÇÃO E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE INCÊNDIO

5.1. Introdução

A determinação do comportamento e desenvolvimento de um incêndio é complexo devido a vários fatores que influenciam na dinâmica do fogo. A simulação de um incêndio através de ensaios experimentais com recurso a modelos físicos é cara, trabalhosa, morosa e apenas permite uma única recolha de dados de um cenário com um dado ambiente, ventilação, disposição, tipo de materiais e outros fatores influentes na evolução do incêndio, sendo também um ensaio destrutivo, não permitindo a recolha e reaproveitamento de materiais.

Atualmente, a evolução do hardware dos computadores como os processadores, placas gráficas, memória RAM e outros componentes, tem permitido a utilização cada vez mais acessível de potentes softwares específicos, que aplicam modelos matemáticos de análise de fenómenos complexos como o incêndio, tornando possível o recurso a simulações virtuais de incêndios e a consequente recolha de dados aproximados à realidade, tornando-se assim uma alternativa fiável e económica.

Deste modo, a criação de modelos virtuais para simulação de incêndios torna possível analisar a dinâmica de desenvolvimento das temperaturas, do fumo e das chamas no percurso de um fogo desde a sua ignição até à extinção, bem como os efeitos resultantes, permitindo, desta forma, conhecer a influência de fatores estruturais, materiais e ambientais existentes no local de ocorrência. Recorrendo a simulações computacionais, é possível verificar as temperaturas em vários pontos distintos e ao longo do período de ocorrência, a visibilidade e o desenvolvimento do fumo, analisar a eficácia de medidas de combate a incêndio como sprinkler's e desenfumagem (ventilação ativa/passiva), permitindo uma avaliação baseada no desempenho.

O software mais utilizado para simulação computacional de incêndios, devido à sua precisão, é o *Fire Dynamics Simulator* (FDS), desenvolvido nos Estados Unidos da América pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST) e resolve numericamente as equações de Navier-Stokes que são apropriadas para fluidos térmicos de baixa velocidade com ênfase no transporte de fumos e calor. O FDS é um programa de modelação de incêndio baseado na dinâmica computacional de fluidos (CFD – Computational Fluid Dynamic), que é considerada como um modelo de campo baseado numa solução tridimensional, que permite a análise de incêndios em geometrias complexas.

O programa FDS funciona através de uma lista de comandos onde são inseridas as coordenadas de todos os obstáculos e funções que constituem o modelo, sendo um método complexo e trabalhoso. Como alternativa foram criadas aplicações de interface gráfica, que facilitam a entrada de dados e importação de ficheiros CAD, permitindo a modelagem dos edifícios que se pretende simular e que integram o FDS e o Smokeview, que é um programa utilizado para visualização gráfica dos resultados da simulação do FDS. A aplicação utilizada no âmbito deste trabalho foi o programa Pyrosim que integra o FDS e o Smokeview, e é desenvolvido pela Thunderhead Engineering.

5.2. Modelação 3D

O programa CAD utilizado no âmbito deste trabalho para a modelação do edifício do antigo Orfeão de Viseu e dos edifícios existentes na Rua Direita foi o Autocad 3D. A modelação tridimensional teve como base as plantas cedidas pelo Município de Viseu para além de fotografias tiradas em várias visitas ao local.

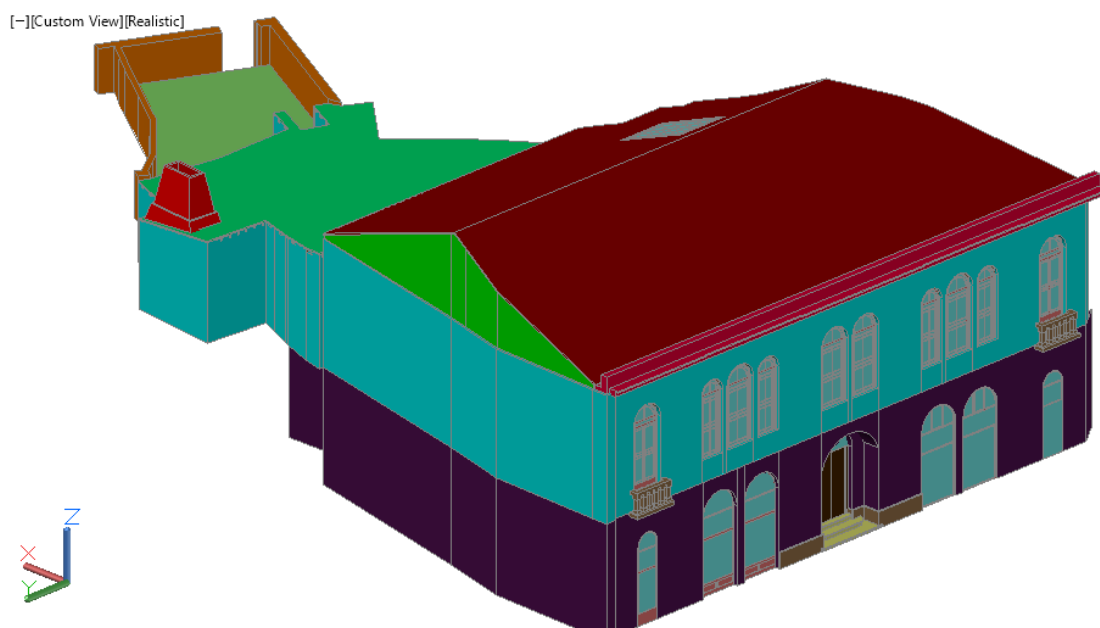


Figura 13 – Modelo Tridimensional do Edifício do Antigo Orfeão de Viseu – vista sudoeste

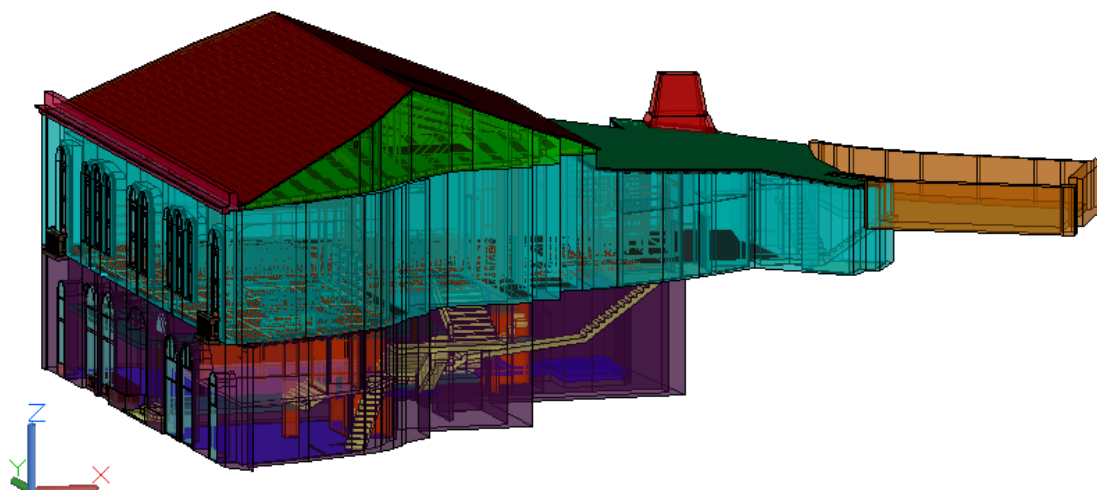


Figura 14 – Modelo Tridimensional do Edifício do Antigo Orfeão de Viseu – vista nordeste

[~][Custom View][Realistic]

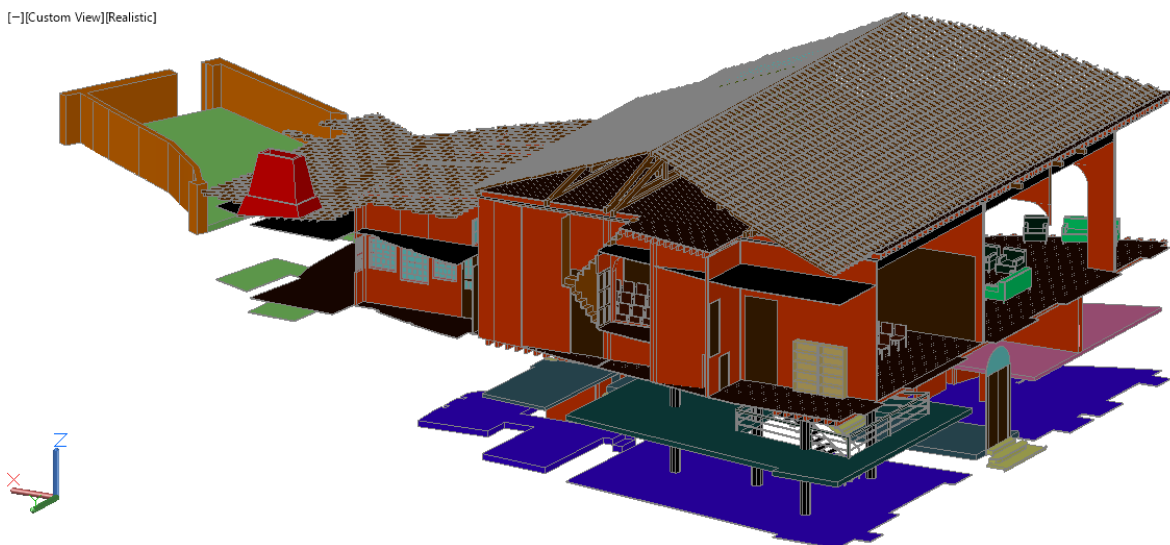


Figura 15 – Perspetiva do edifício sem paredes exteriores – vista sudoeste

[~][Custom View][Realistic]

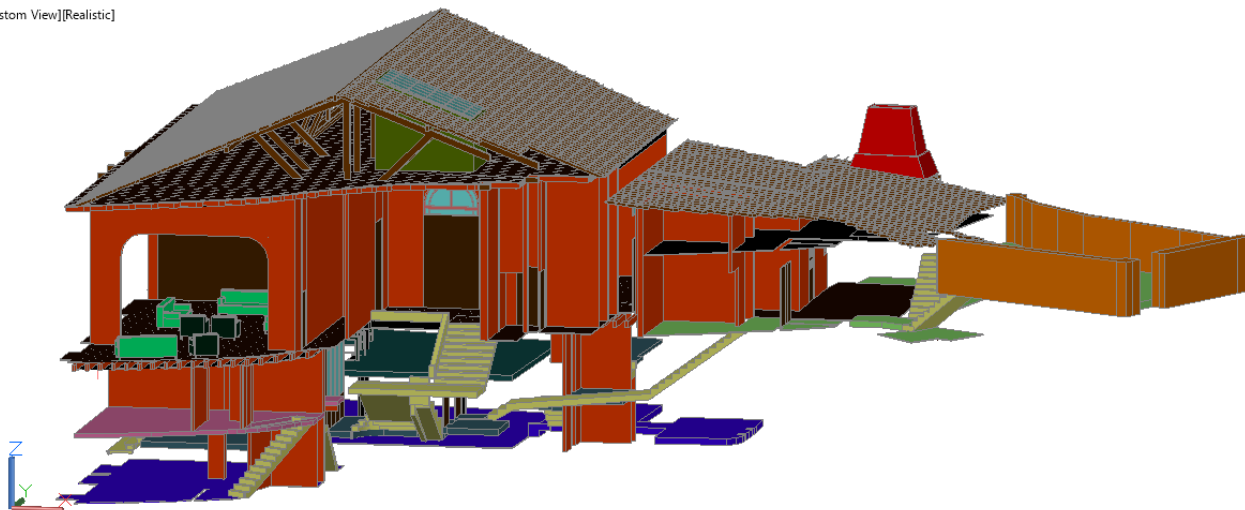


Figura 16 - Perspetiva do edifício sem paredes exteriores – vista nordeste

[~][Custom View][Realistic]

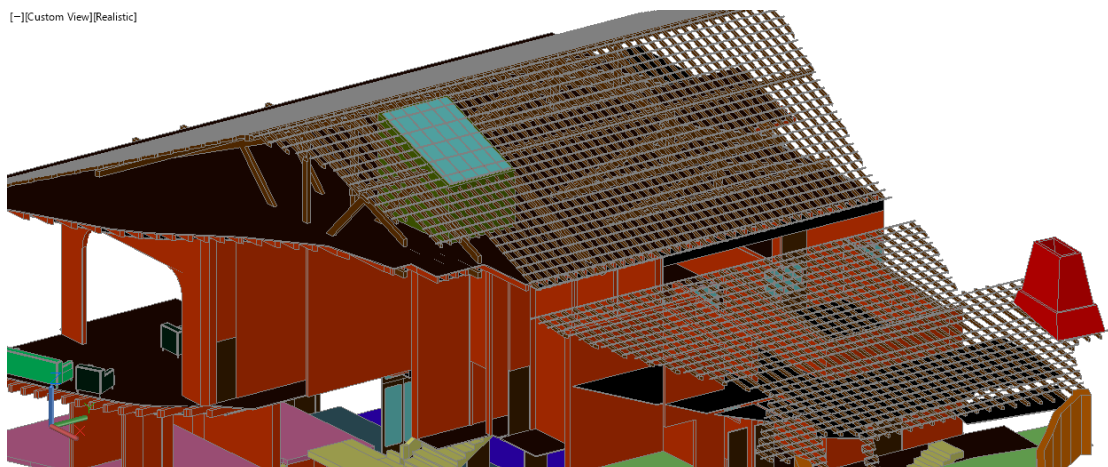


Figura 17 – Perspetiva do edifício sem paredes exteriores – vista norte

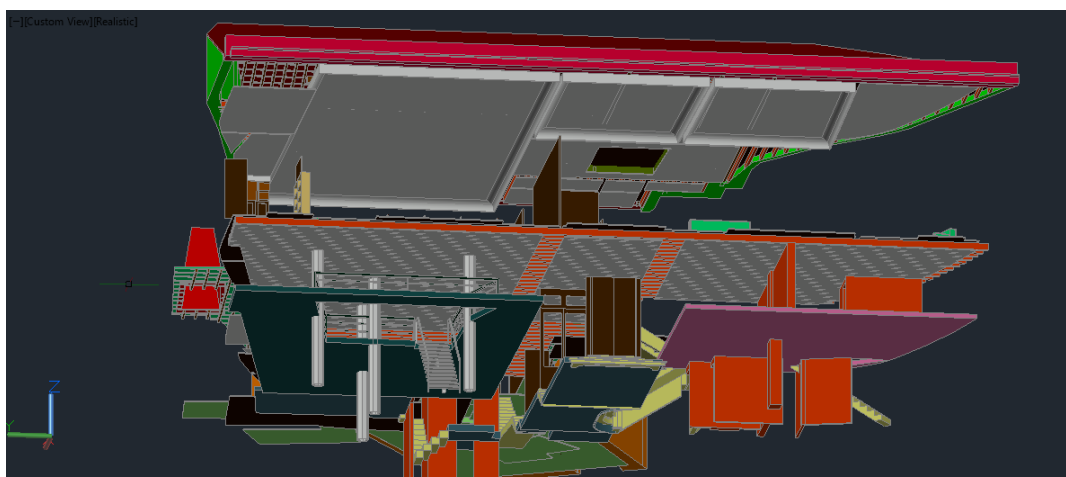


Figura 18 – Tetos do Rés do Chão e Primeiro Piso

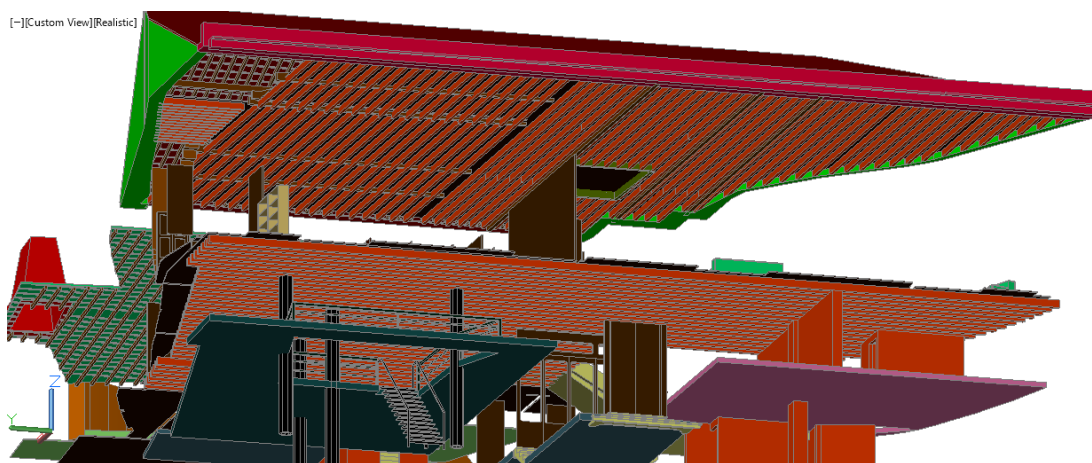


Figura 19 – Barrotes das lajes

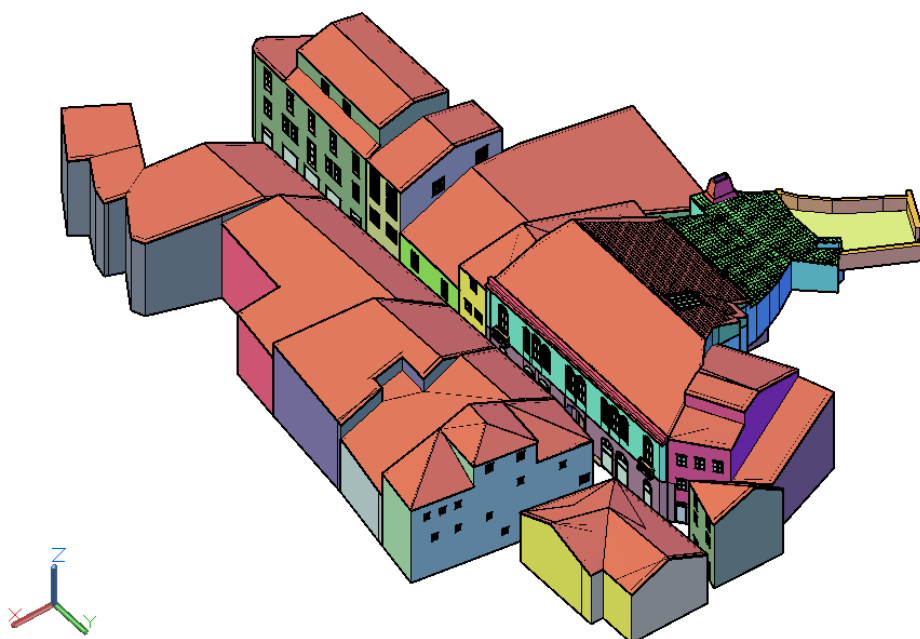


Figura 20 - Modelo tridimensional do edifício do Antigo Orfeão de Viseu e dos edifícios adjacentes existentes na Rua Direita

Uma das principais preocupações durante a criação do modelo foi a utilização de layer's específicos por material (madeira, vidro, gesso, etc.) e por elemento (piso, porta, janela, reboco, teto falso, pedra, etc.), uma vez que o programa Pyrosim trabalha com os materiais designando as propriedades físicas como taxa de libertação de calor (HRR – Heat Release Rate), densidade, emissividade, condutividade e coeficiente de absorção, que são importantes para o comportamento ao fogo, e permite identificar e manipular cada elemento como abertura de portas e janelas para criar vários cenários de incêndios.

Foi modelado o mobiliário e estabelecidos layer's para cada tipo de móvel como mesa, cadeira, sofá e armário tendo em vista o trabalho no Pyrosim.

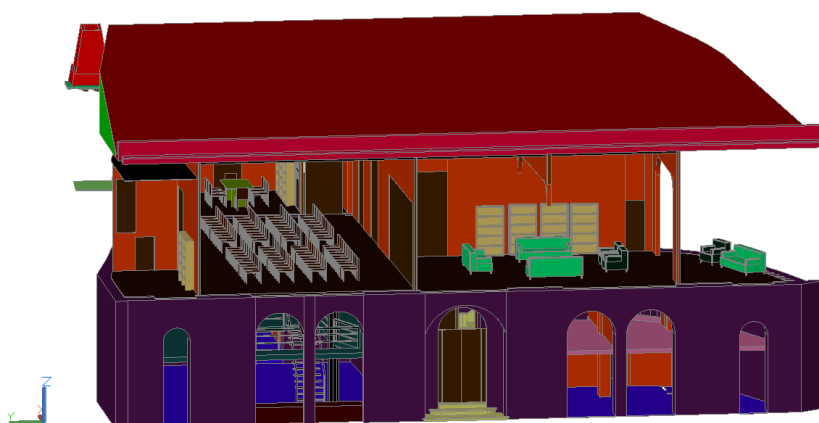


Figura 21 – Mobiliário

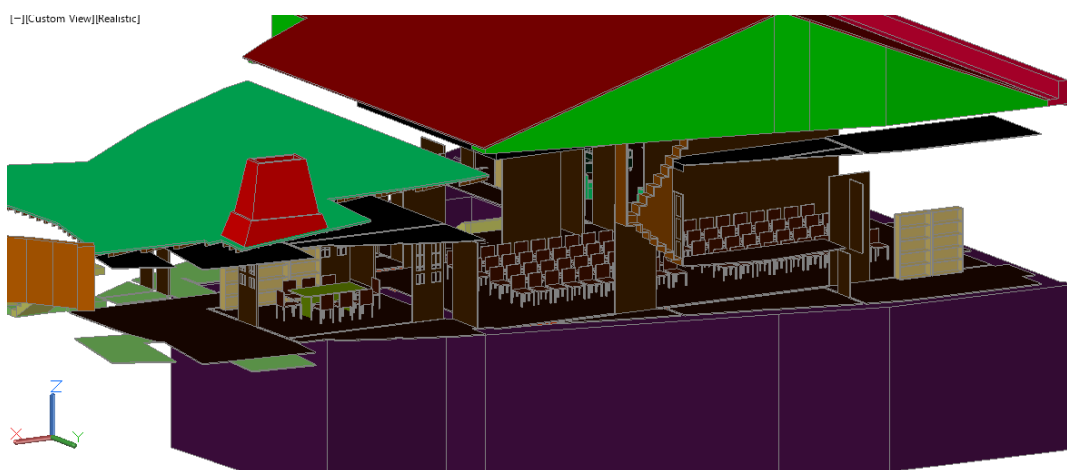


Figura 22 – Mobiliário

Ao nível do sótão, devido à forte presença da madeira em elementos como os barrotes ao nível da laje, o piso em forma de tabiques, as asnas constituintes da estrutura de sustentação da cobertura, os barrotes da cobertura e o ripado de assentamento das telhas, efetuou-se toda a sua modelação, tendo em conta a relevância que este material tem para o desenvolvimento de um incêndio.

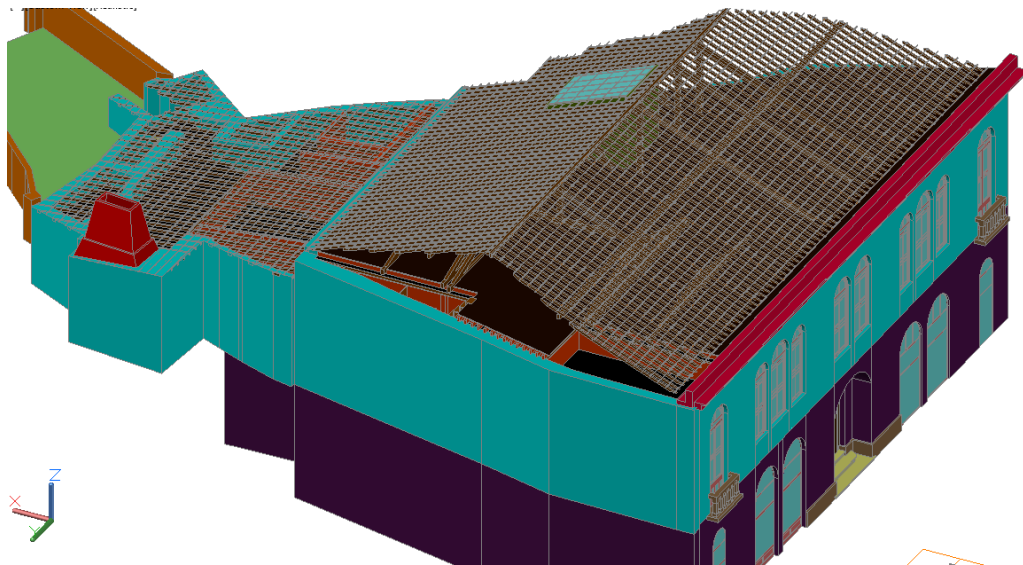


Figura 23 - Barrotes e ripado da cobertura

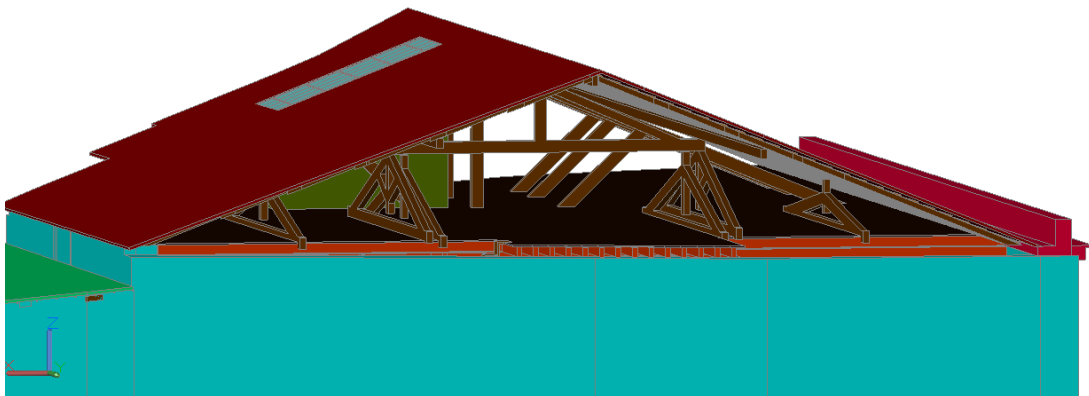


Figura 24 – Asnas

O passo seguinte foi a exportação do modelo para o Pyrosim, com o formato DWG e com todos os layer's organizados tal como referido anteriormente.

5.3. Modelação computacional FDS com interface Pyrosim

5.3.1. Importação

Na importação do modelo 3D, estabeleceu-se o foco nos edifícios próximos, mais concretamente nos edifícios adjacentes e em frente, todos localizados na Rua Direita e na Travessa das Escadinhas da Sé, devido à sua exposição. Foi dada especial atenção aos edifícios com exposição frontal ao edifício em estudo, colocando sensores de medição de temperatura nas janelas e montras, uma vez que a existir propagação do incêndio, far-se-á pela quebra dos vidros devido à sua fraca resistência ao fogo

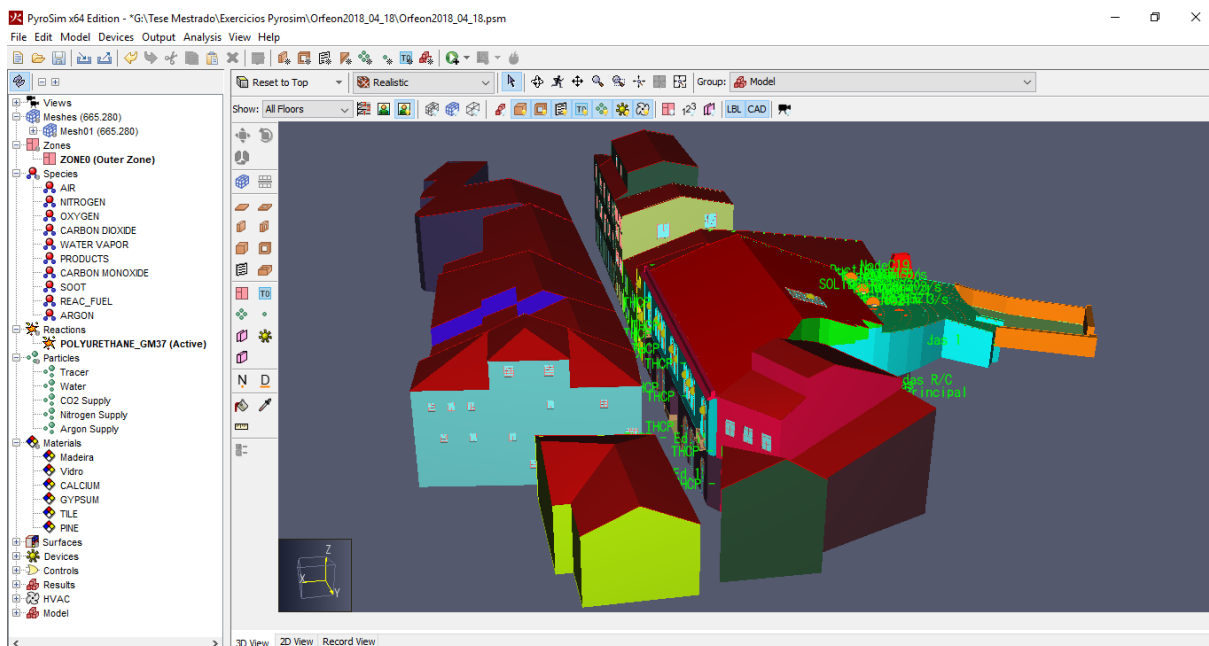


Figura 25 - Modelo representativo dos edifícios existentes na rua Direita

O primeiro passo foi a verificação, na importação do modelo para o Pyrosim, dos layer's criados no Autocad para identificação correta de todos os elementos constituintes do edifício conforme se pode conferir na figura 26.

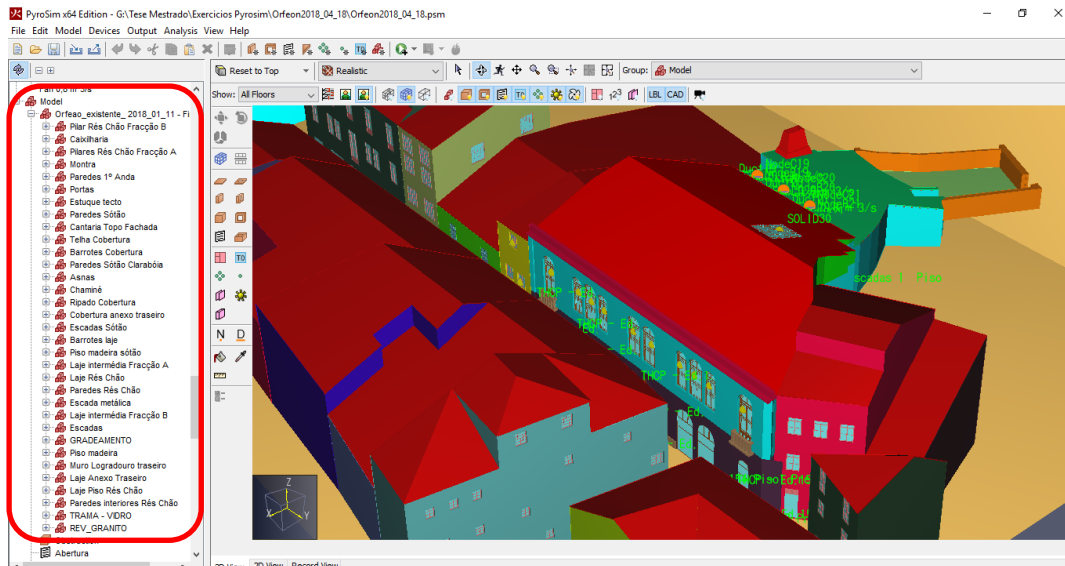


Figura 26 - Identificação dos elementos constituintes do edifício

5.3.2. Definição dos materiais

O passo seguinte consistiu na definição dos materiais presentes como a madeira, vidro, telha cerâmica, gesso e silicato de cálcio.

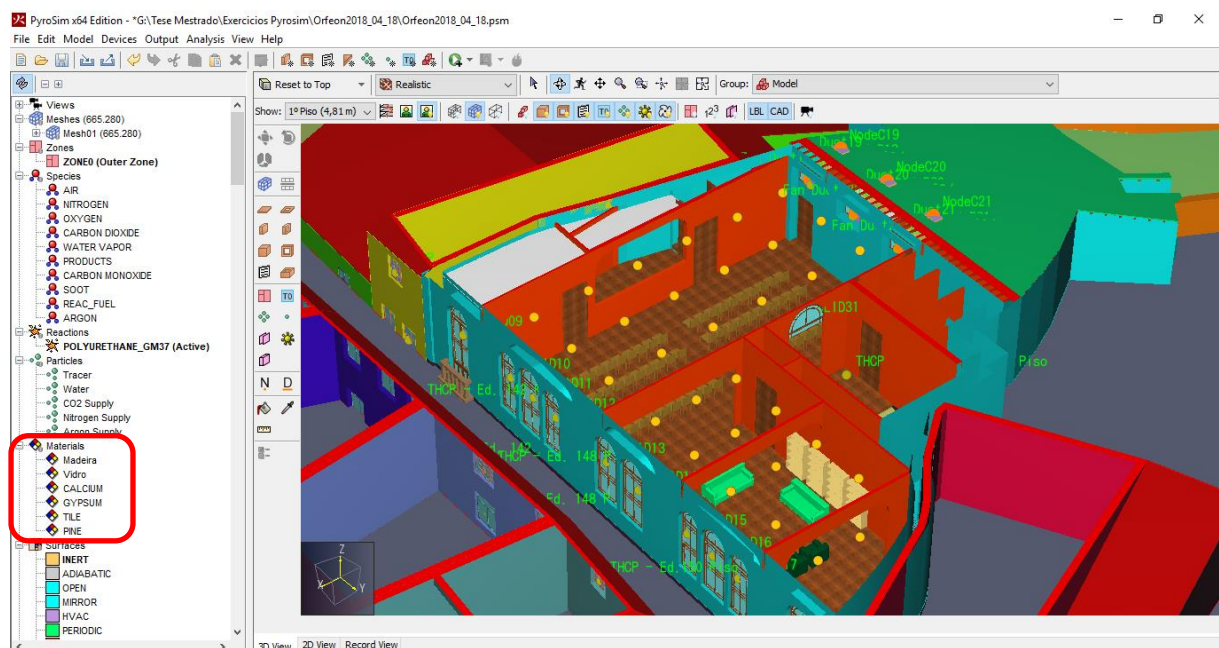


Figura 27 – Identificação dos materiais constituintes do edifício

No campo de edição dos materiais são definidos parâmetros como o estado sólido ou líquido, as propriedades térmicas (densidade, calor específico, condutividade, emissividade e coeficiente de absorção) e pirólise e o programa permite, na aba Advanced, adicionar outros parâmetros que possam ser importantes para o comportamento ao fogo.

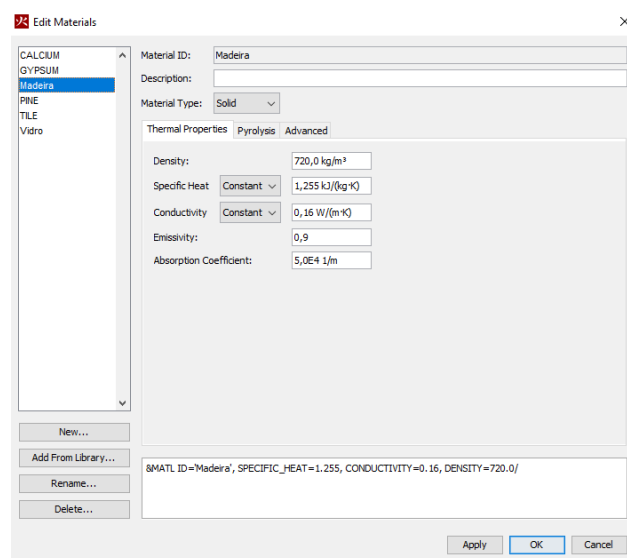


Figura 28 – Campo de edição dos materiais

Recorreu-se à biblioteca dos materiais no PyroSim para a definição dos parâmetros escolhidos para os materiais já descritos anteriormente, com exceção da madeira e do vidro que foram obtidos a partir da biblioteca do programa CFast, devido à inexistência de parâmetros destes materiais na biblioteca do PyroSim

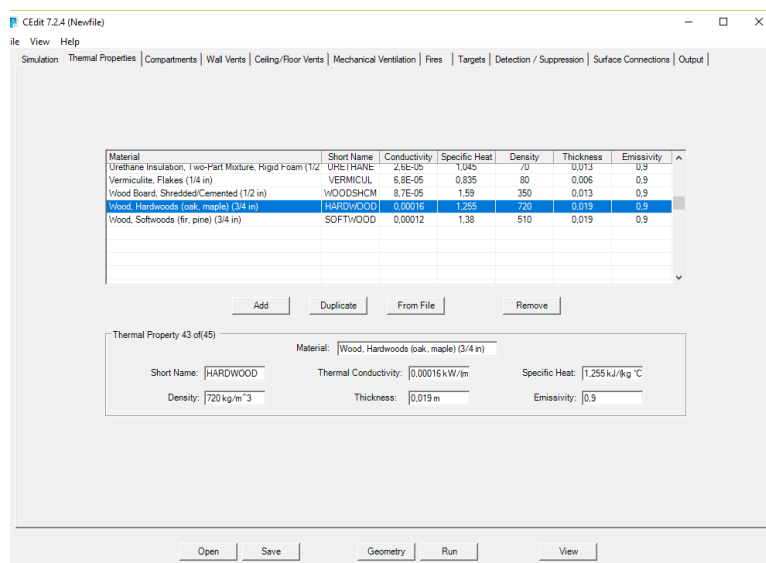


Figura 29 – Biblioteca CFast

5.3.3. Definição de malha de cálculo (mesh)

A criação da malha de cálculo é extremamente importante para a definição do volume de controlo que será analisado pelo programa. É importante que o referido volume envolva todos os elementos dos edifícios. A arquitetura e modo de funcionamento do software foram concebidos de modo a utilizar de forma dedicada um processador de computador para cada sub-malha, deste modo, como, para a elaboração da dissertação, foi disponibilizado pelo Instituto Superior de Engenharia de Coimbra um computador com dezasseis processadores, criou-se uma malha de cálculo com dezasseis sub-malhas, permitindo a maximização da rentabilidade do hardware, obtendo tempos de cálculos relativamente curtos (várias horas), com recurso ao processamento em paralelo, que de outra forma levariam vários dias.

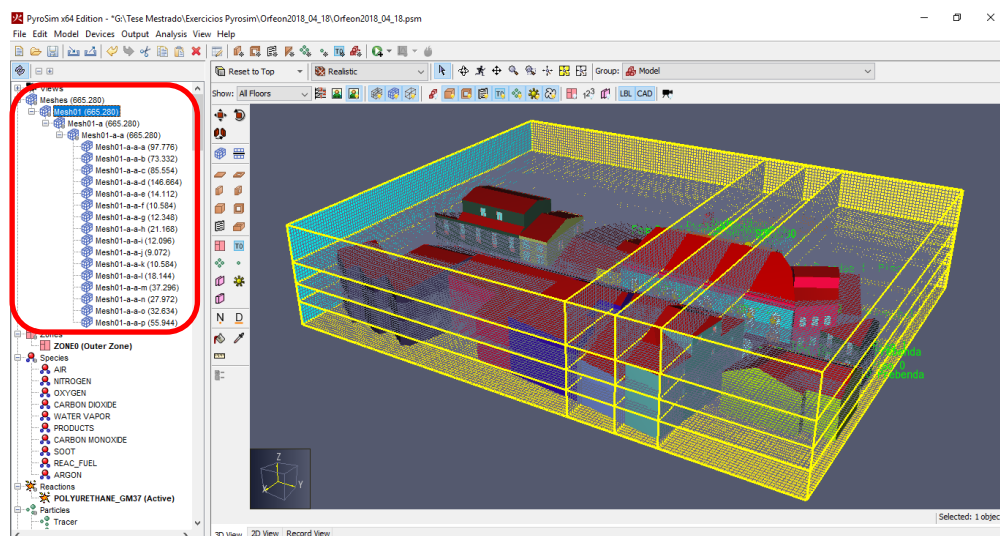


Figura 30 – Malha de cálculo

Determinou-se, recorrendo ao editor de malhas de cálculo, o valor de 0,5x0,5x0,5 metros para a dimensão das células das malhas, sendo possível escolher uma dimensão menor, no entanto tornar-se-ia pesado e com tempos de cálculo superiores. Por outro lado, a escolha por dimensões superiores levaria a uma qualidade de resultados de simulação inferiores.

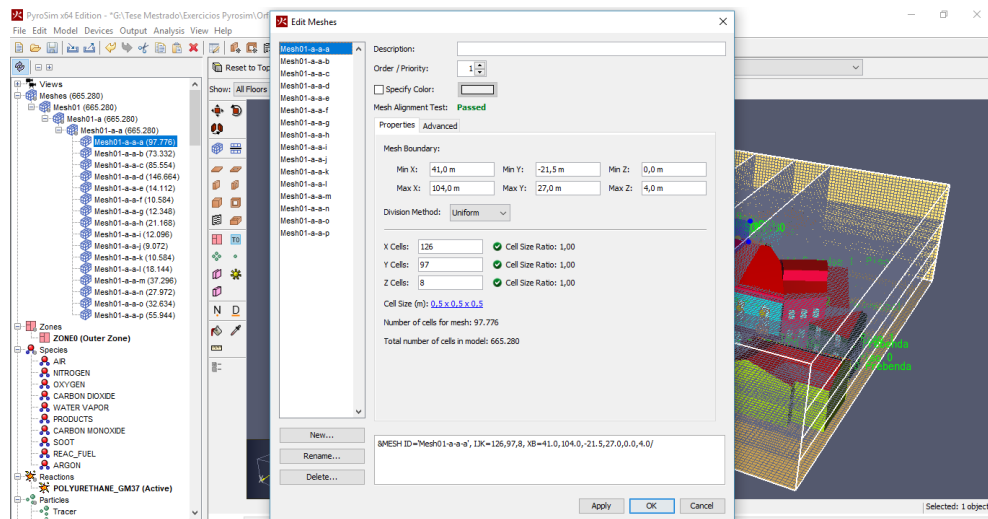


Figura 31 – Dimensão das células

5.3.4. Criação de superfícies e curvas de incêndio

Para a simulação do desenvolvimento do incêndio é importante definir as características das superfícies dos materiais presentes no modelo recorrendo a curvas de incêndio que relacionam a taxa de radiação do calor (HRR) com o tempo decorrido desde a ignição até à extinção do fogo.

Para o presente trabalho, recorreu-se às seguintes curvas de incêndio:

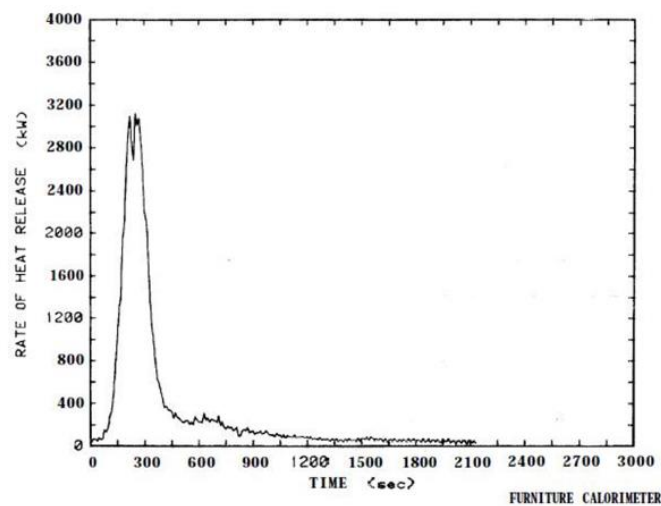


Figura 32 – Gráfico Curva de Incêndio
Sofá Longo (Lawson, et al., 1984)

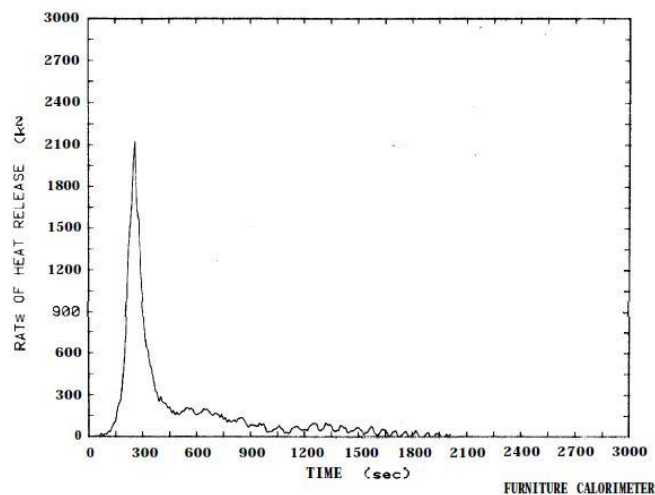


Figura 33 – Gráfico Curva de Incêndio Sofá Individual (Lawson, et al., 1984)

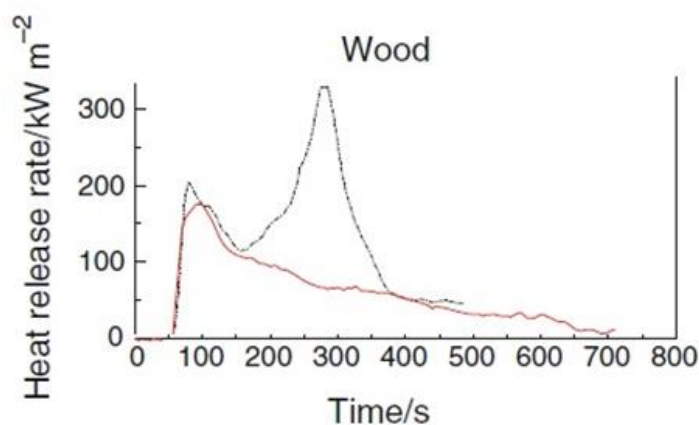


Figura 34 – Gráfico Curva de Incêndio da Madeira (Kim, et al., 2011)

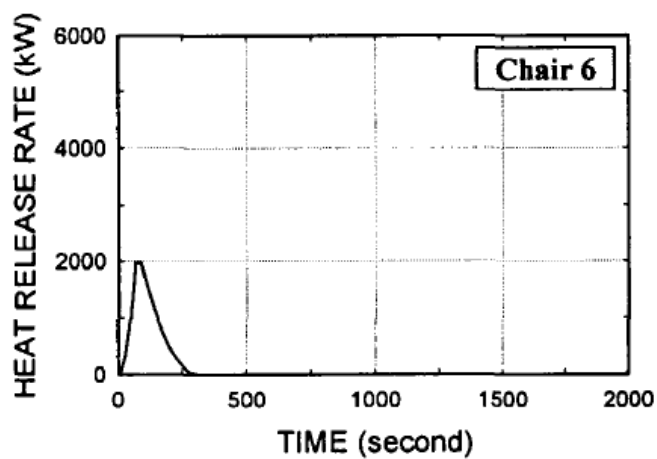


Figura 35 – Gráfico Curva de Incêndio de Cadeira de Madeira (Kim, et al., 2000)

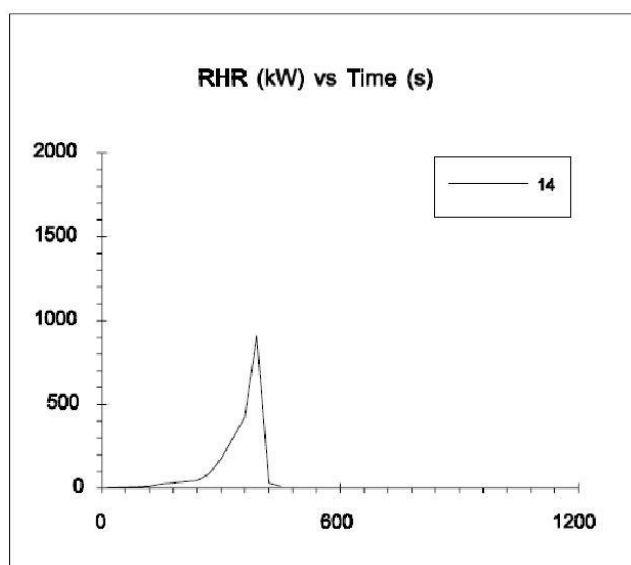


Figura 36 – Gráfico Curva de Incêndio de Estante com Papel (Andersson, et al., 1988)

Para a introdução dos valores no software Pyrosim recorreu-se ao aplicativo Engauge Digitizer que permite fazer uma leitura do gráfico traçando uma linha sobre a curva, obtendo os valores de HRR e os respetivos tempos, que são exportados para uma tabela em Excel. Esta tabela permite analisar e obter o valor máximo de HRR e o respetivo tempo. De seguida é calculada a taxa de radiação de calor por unidade de área (HRRPUA) que consiste na divisão de HRR máximo pela área (m^2) do elemento considerado.

Como exemplo, a figura 37 ilustra a colocação de valores, correspondente ao sofá longo, no campo de edição de superfícies, na aba Reaction:

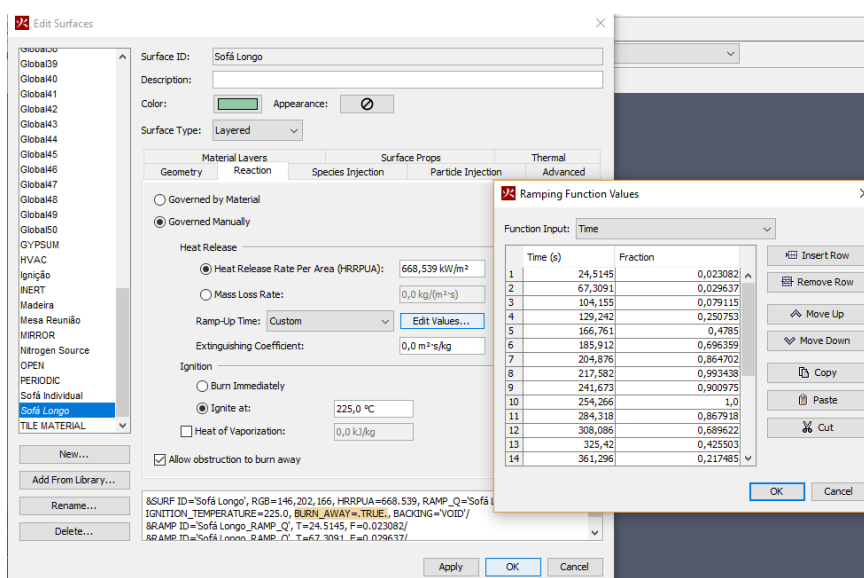


Figura 37 – Campo de edição de superfícies do Pyrosim

Ainda no campo de edição de superfícies, na opção Ramp-Up Time, são introduzidos os valores do tempo e da fração que relaciona o HRR máximo com o HRR ao longo do tempo. Foi considerado o valor de 225 °C para a temperatura de ignição do sofá longo.

5.3.5. Dispositivos de exclusão de vidros

Relativamente ao vidro, o seu comportamento ao fogo é considerado inerte, logo não tem curva de incêndio, no entanto o Pyrosim permite simular a sua quebra quando atinge a temperatura máxima de resistência de 360 °C para uma espessura de 3 mm (Babrauskas, 1997) colocando um dispositivo de exclusão (ver fig. 38).

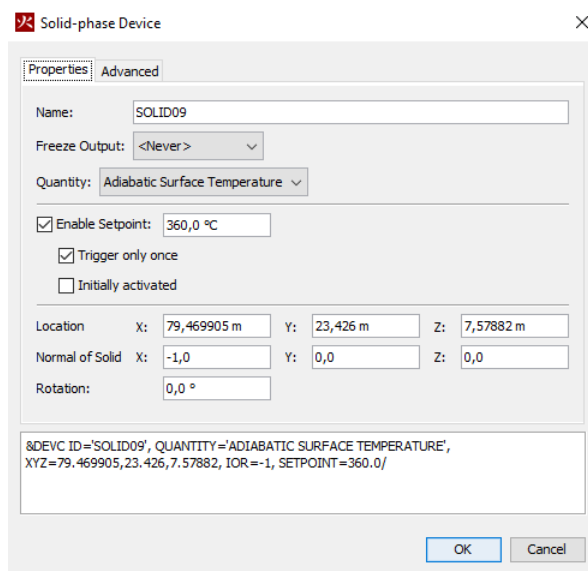


Figura 38 – Dispositivo de exclusão

Para acionar a exclusão do vidro à temperatura definida é criado um controlo de ativação associado ao vidro (ver fig. 39).

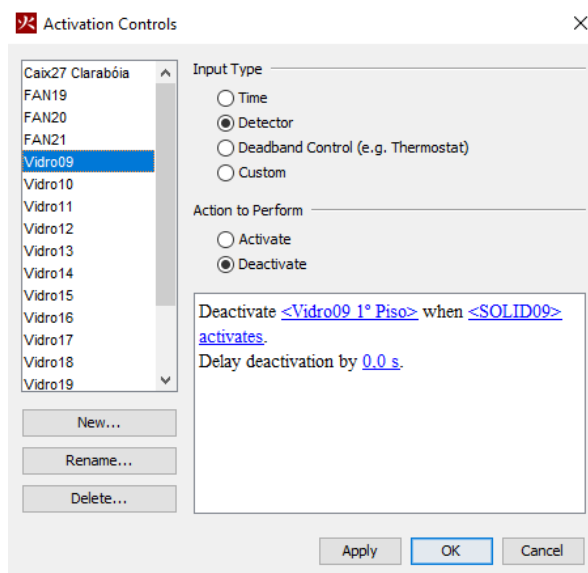


Figura 39 - Ativação de dispositivos de exclusão

Foram colocados dispositivos em todas as janelas localizadas na fachada principal, ao nível do primeiro piso, na claraboia existente na cobertura, nas janelas existentes no tardo do bloco principal do edifício e no envidraçado existente por cima da porta de entrada do salão.

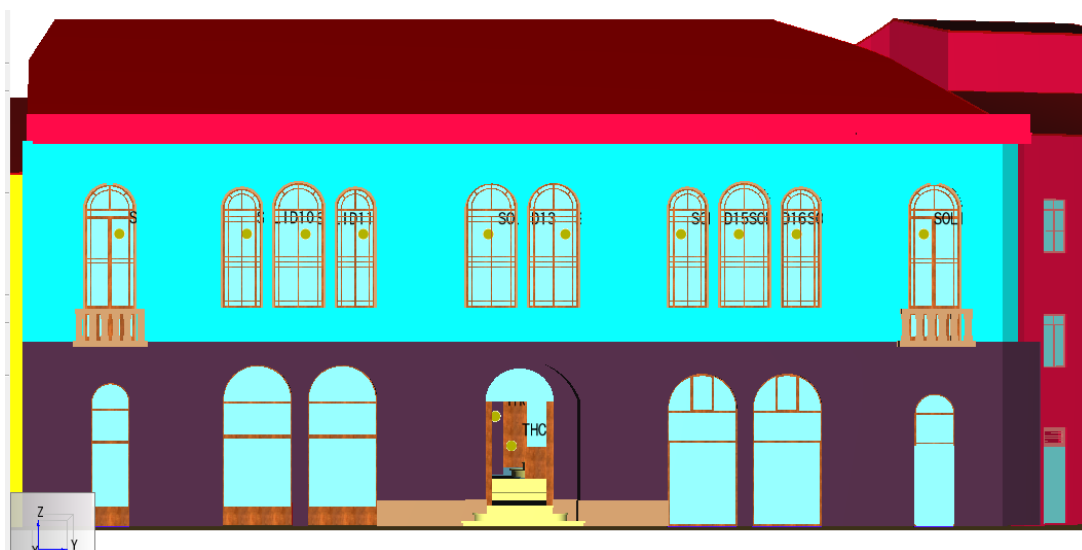


Figura 40 - Dispositivos de exclusão na fachada principal

5.3.6. Análise de temperaturas e visibilidade

O Pyrosim disponibiliza uma ferramenta de análise chamada de slice (lâmina) que é um plano de corte que permite a análise da evolução de vários parâmetros, ao longo do tempo, em qualquer localização do edifício. Para este trabalho foram selecionados os parâmetros da temperatura e visibilidade, por serem os parâmetros que melhor medem a influência do fogo e do fumo, respetivamente, no desenvolvimento do incêndio e sua gravidade para os ocupantes. A figura 41 ilustra os vários planos horizontais de medições de temperatura e visibilidade, colocados a diversas cotas a toda a altura dos edifícios e dois planos verticais paralelos às fachadas dos edifícios localizados na rua Direita

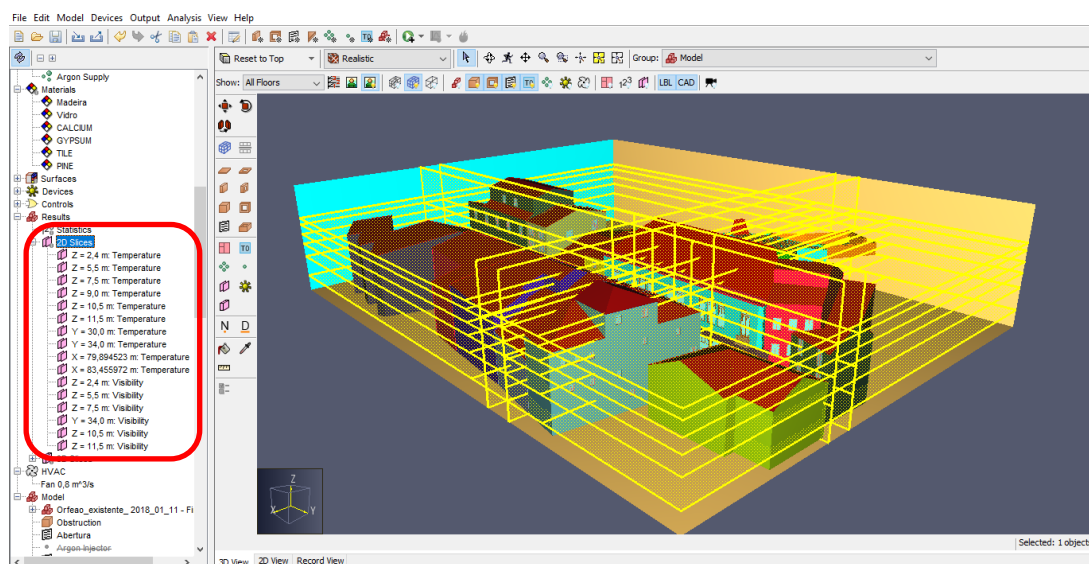


Figura 41 - Planos de medição de temperaturas e visibilidade

Para além desta ferramenta de análise, o programa possibilita a utilização de sensores que medem a temperatura (thermocouples) ao longo do intervalo de tempo da simulação e que o utilizador pode colocar em qualquer ponto do modelo. Para este trabalho foram colocados quatro sensores na caixa de escadas e corredor da entrada principal (ver fig. 42 e 43).

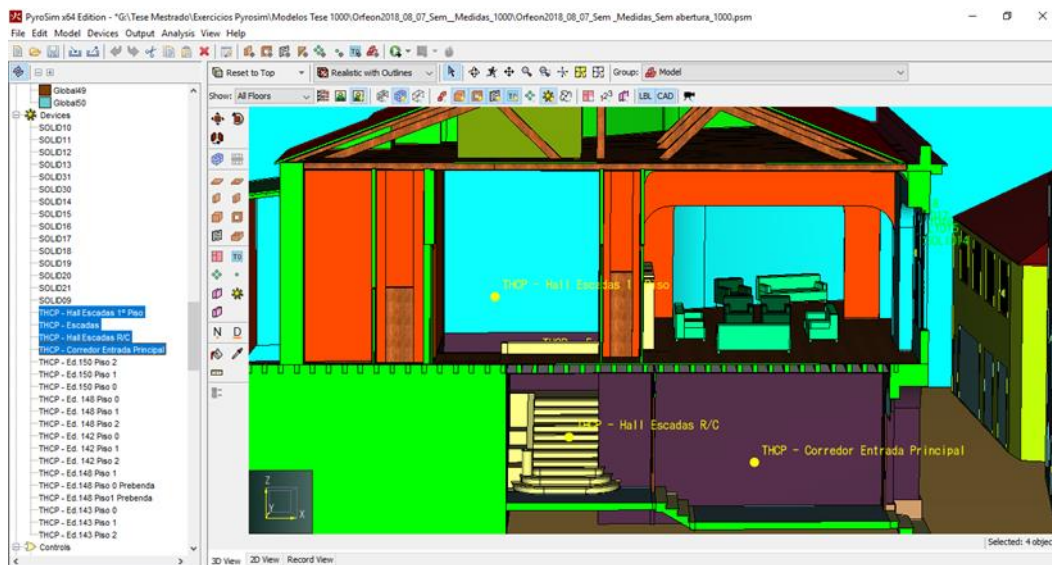


Figura 42 – Sensores de medição de temperaturas

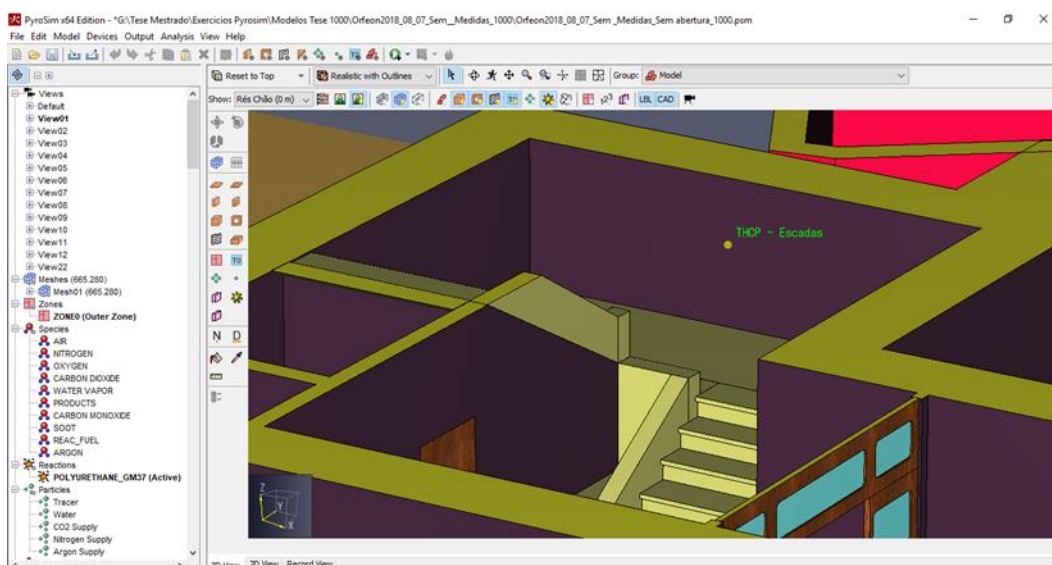


Figura 43 – Sensores de medição de temperaturas

5.4. Modelação computacional de evacuação com interface Pathfinder

5.4.1. Introdução

O objetivo da utilização de modelos computacionais de evacuação de ocupantes é verificar se o número de vias existentes no edifício serão suficientes para a evacuação em tempo útil do número de ocupantes no seu interior durante a ocorrência de um incêndio.

A modelação computacional permite simular o comportamento e a movimentação no momento da evacuação, possibilitando a observação e obtenção de informações valiosas, verificando a existência de pontos de estrangulamento e se as saídas estão bem posicionadas, permitindo que sejam efetivamente utilizadas em caso de emergência. É ainda possível obter representações dos caminhos e decisões tomadas na evacuação. Além da simulação, a modelação possibilita a avaliação de risco, identificando os perigos resultantes da evacuação e quantificando o risco.

Os softwares mais utilizados e conhecidos são o Mass Motion, Simulex, FDS+Evac, Pathfinder, Legion e Pedgo, entre outros. A escolha do programa mais adequado deve ter em conta o tipo de edifício e suas características e os resultados de cálculo da simulação que se pretendem obter.

No âmbito deste trabalho, recorreu-se ao simulador de movimento de ocupantes Pathfinder 2018. Este software, desenvolvido e comercializado pela Thunderhead Engineering, baseia-se no modelo continuous network, em que se aplica um espaço a duas dimensões (contínuo) aos planos do edifício e permitem que os ocupantes se desloquem de um ponto para outro através do edifício. O programa recorre a dois métodos de simulação de movimentos, (Ronchi et al, 2013), o método hydraulic model SFPE, desenvolvido por (Gwynne et al, 2008), baseado no cálculo da capacidade dos meios existentes, e o método agent-based desenvolvido por (Reynolds, 1999), baseado no estudo do comportamento dos ocupantes.

Para a escolha deste software contribuiu o facto de ser desenvolvido pela mesma empresa que desenvolve o Pyrosim, facilitando a obtenção da licença para uso académico. O programa tem uma interface que permite a utilização de forma simples e acessível por parte do utilizador e possibilita a importação de ficheiros em formato dwg com visualização em 2D e 3D. Além disso, fornece gráficos com informação sobre tempos de percurso, taxas de fluxo de ocupantes, número de ocupantes por divisão e o total de ocupantes no edifício em estudo.

5.4.2. Modelação

A modelação iniciou-se com a importação do mesmo modelo 3D utilizado para o programa Pyrosim, também em formato dwg. O passo seguinte foi a criação dos diferentes níveis com cotas altimétricas que o Pathfinder cria automaticamente a partir da leitura do modelo 3D importado, bastando para isso, apenas adicionar novo piso ao piso 0 já criado de início no momento da importação.

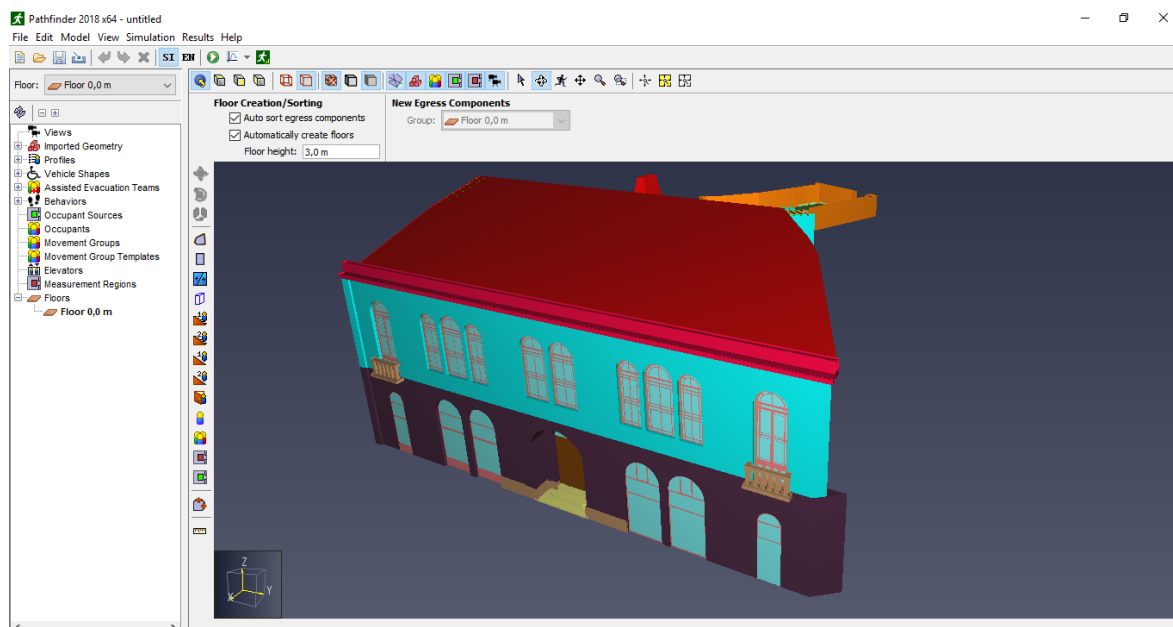


Figura 44 - Modelo 3D

Com o modelo e as cotas altimétricas dos pisos definidos, passa-se para a criação das áreas das divisões onde é possível a presença e circulação dos ocupantes, com recurso ao comando “*extract floor*” e seleccionando todas as referidas divisões nos diversos pisos.

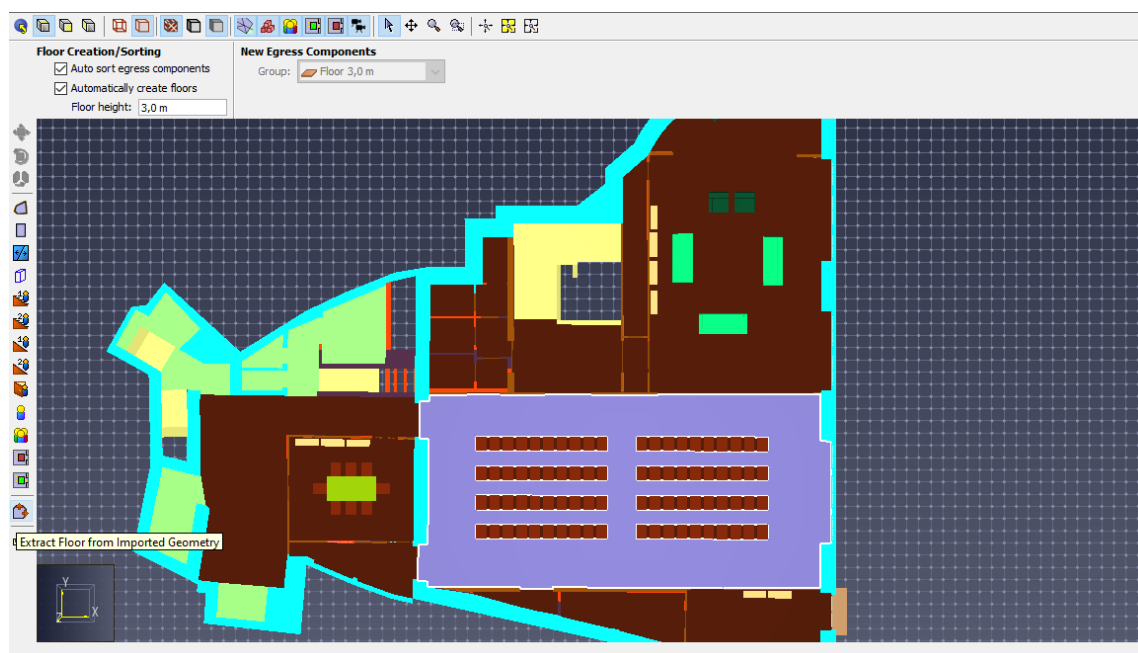


Figura 45 - Criação de áreas das divisões

Após a criação de todas as compartimentações, passa-se para a criação das portas entre os compartimentos recorrendo ao comando “Add a new door”, onde é possível editar a taxa de fluxo/passagem, o sentido de saída, aberto ou fechado e até temporizar o fecho ou abertura das portas, obrigando os ocupantes a decidir rotas alternativas, de modo a simular um cenário em que um caminho de circulação se torne impossível de utilizar devido à evolução do incêndio.

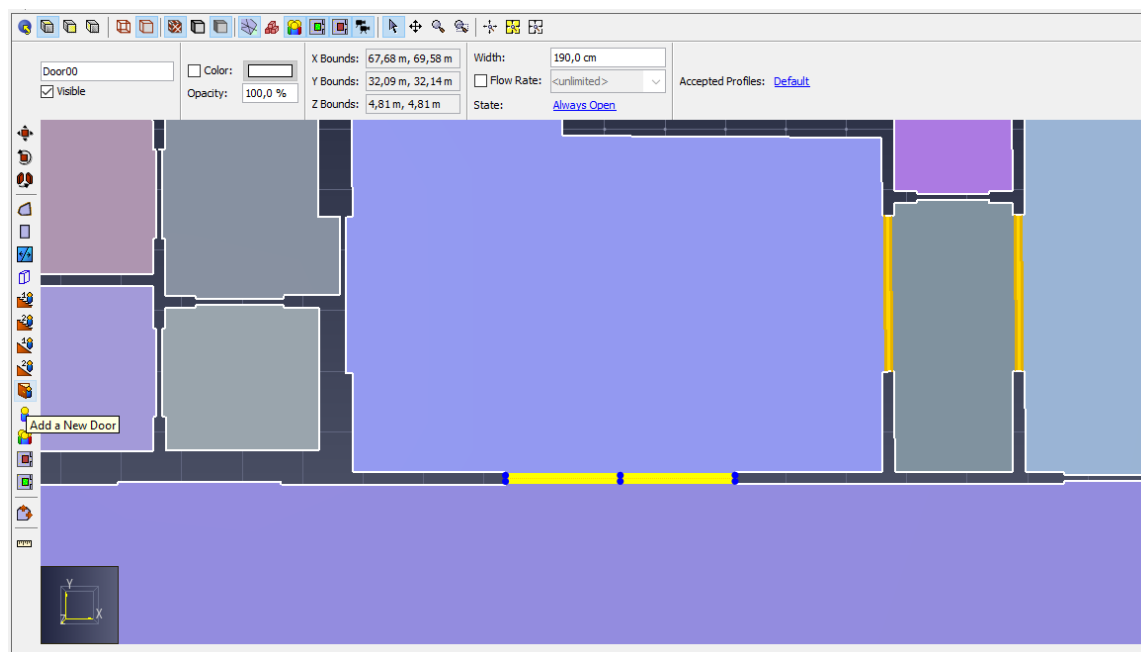


Figura 46 - Criação de portas

Foram definidas como portas de saída, assinalando o fim de percurso de evacuação, a porta principal de acesso localizada no piso zero, na rua Direita e a porta localizada nas traseiras do edifício, na rua Senhora da Boa Morte.

De seguida são criadas as escadas utilizando o comando “*create stairs*”, sendo a sua edição similar ao comando “*Add a new door*” com as mesmas propriedades como taxas de passagem e sentido, entre outras.

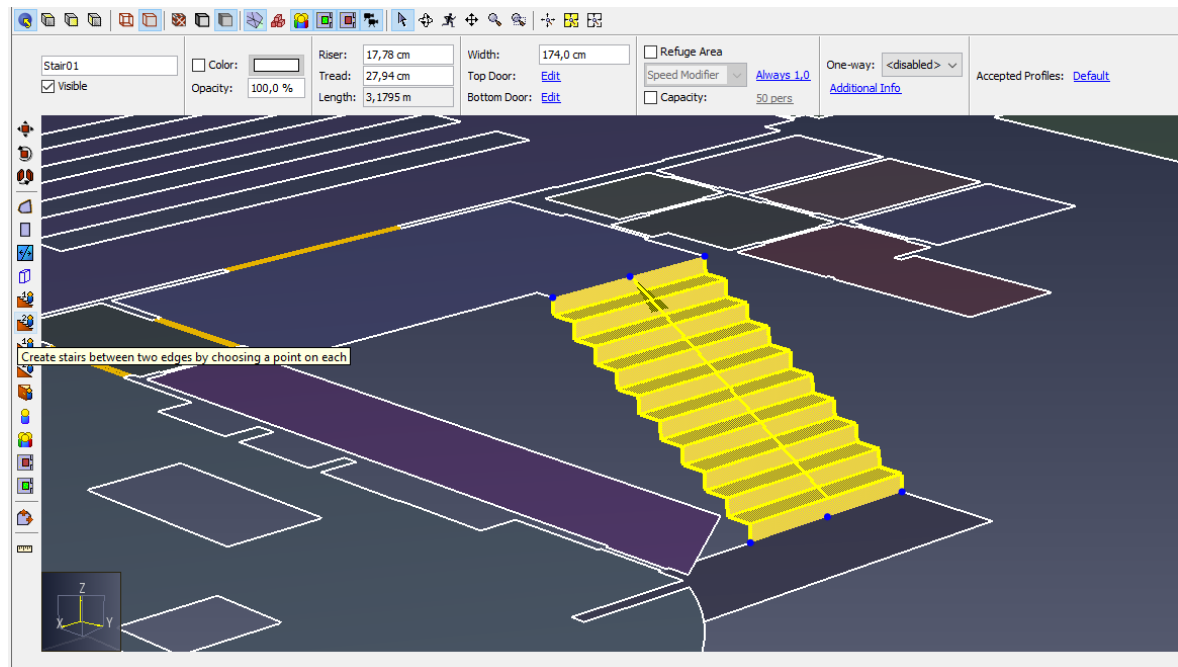


Figura 47 - Criação de escadas

Na figura 48, apresenta-se o modelo com todos os elementos necessários à simulação de evacuação, como áreas de compartimentação, portas, escadas e saídas, que estão assinaladas a verde.

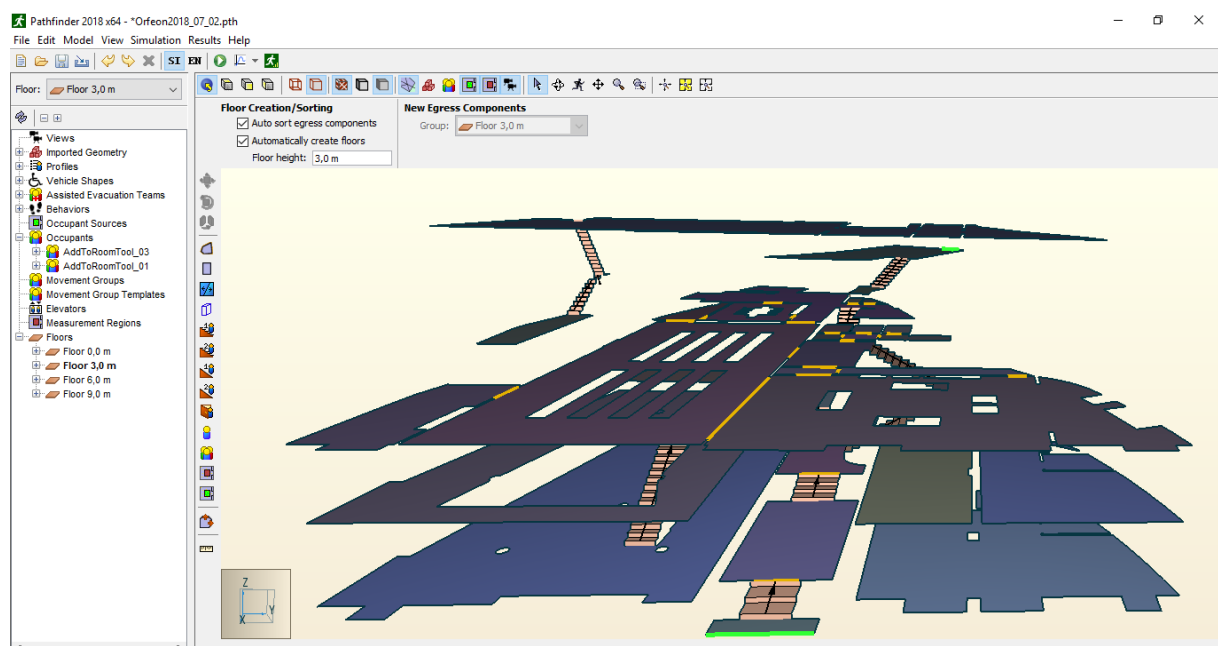


Figura 48 - Modelo final de compartimentação

O último passo é a introdução e caracterização dos ocupantes. Com o comando “Add Occupants” definimos o número de ocupantes (quantidade, densidade ou tipo de divisão pré-definida), disposição uniforme ou aleatória. O perfil e o comportamento de escolha de saída dos elementos são previamente definidos, sendo possível a sua alteração com recurso a outros comandos (ver fig. 49).

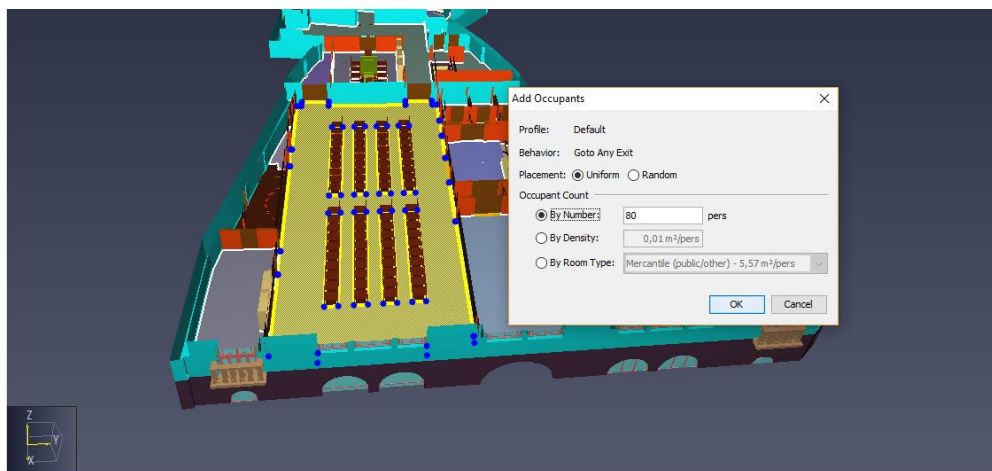


Figura 49 - Introdução de ocupantes

Ao seleccionar o grupo de ocupantes é possível alterar parâmetros como o perfil, comportamento de escolha do local de saída, a prioridade, velocidade de passo, forma (diâmetro e altura), cor, modelo e orientação (ver fig. 50).

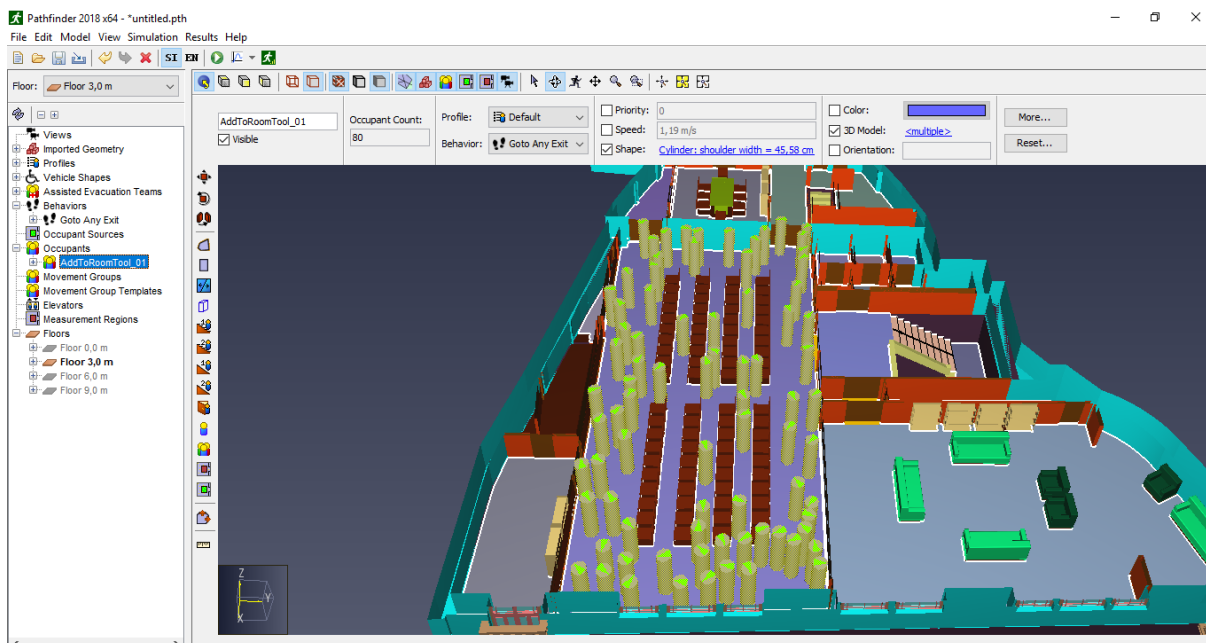


Figura 50 - Parâmetros de ocupantes

Para além destes parâmetros, o Pathfinder permite especificar outros parâmetros como o seu movimento, a escolha da porta de saída e parâmetros avançados de velocidade (ver fig. 51), o que torna o programa de simulação bastante poderoso e flexível, permitindo múltiplos cenários e consequentes simulações de evacuação.

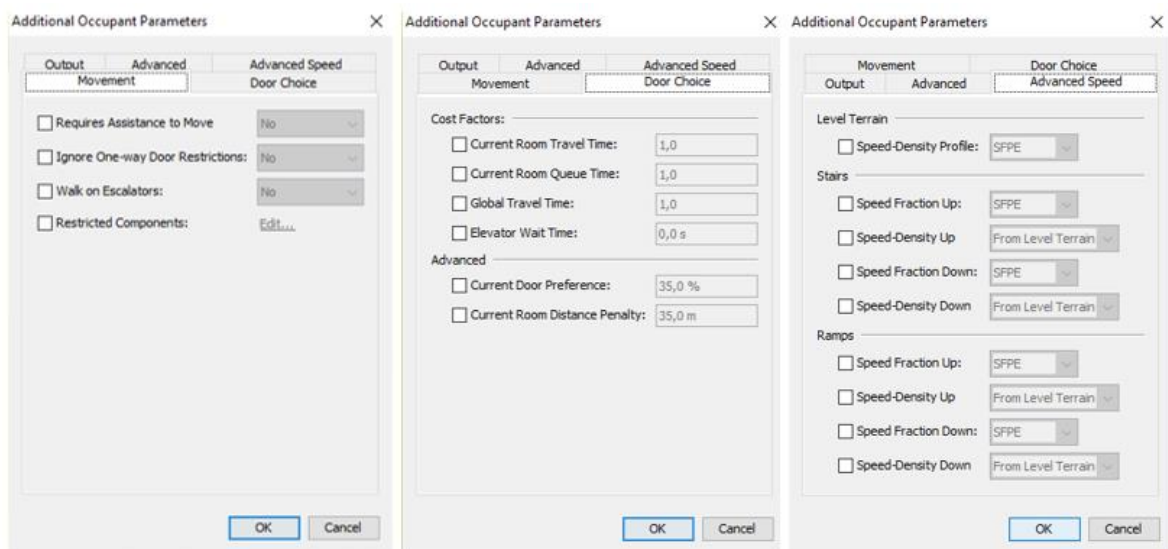


Figura 51 - Parâmetros adicionais de ocupantes

No entanto, no campo de edição de perfil também é possível a configuração dos referidos parâmetros (ver fig. 52).

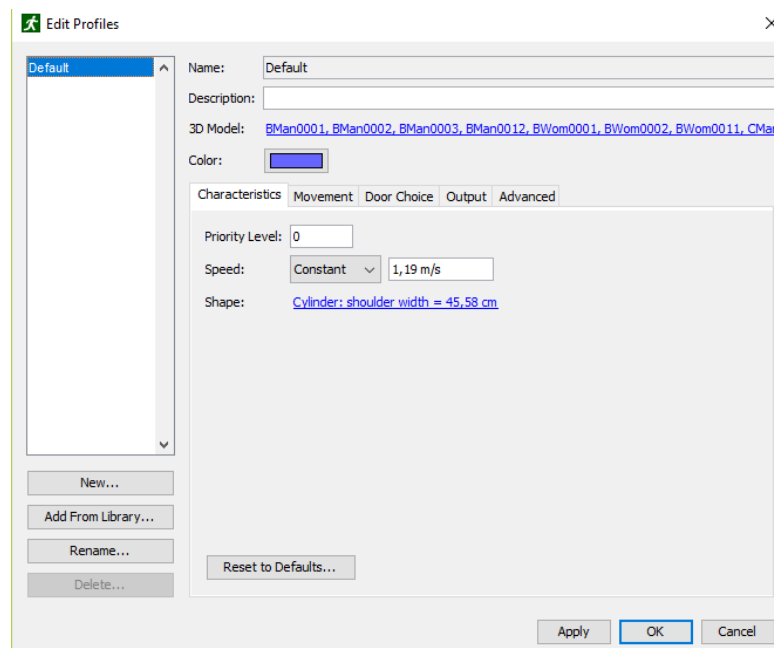


Figura 52 - Campo de edição de perfil

Após a definição do modelo e caracterização dos ocupantes é realizado o cálculo da simulação com recurso ao comando “Run Simulation” localizado no menu “Simulation”.

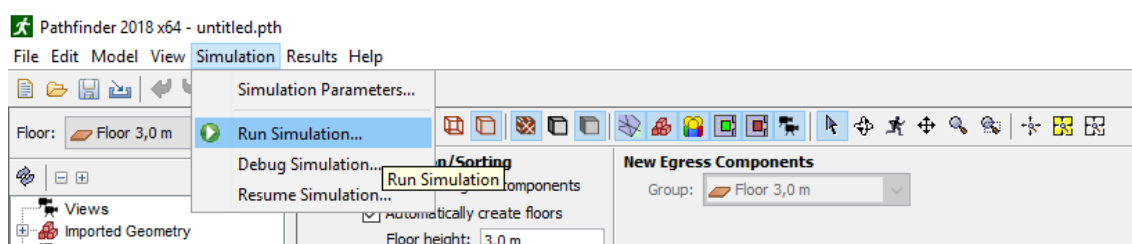


Figura 53 – Comando “Run Simulation”

Nos resultados da simulação, é possível visualizar os ocupantes como cilindros diferenciados apenas pela cor referente à localização da divisão onde se encontram (ver fig. 54). Esta predefinição de cor é efetuada durante a elaboração do modelo, na criação dos ocupantes e tem a vantagem de permitir visualizar e acompanhar o percurso dos diferentes grupos ao longo do tempo de simulação.

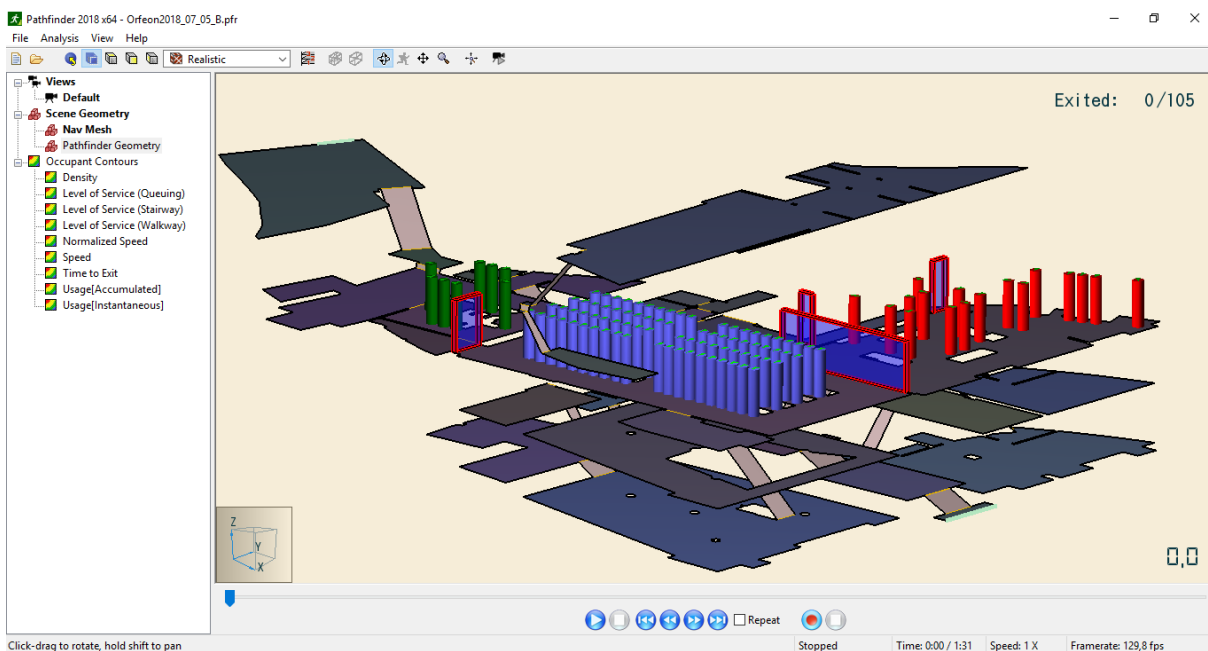


Figura 54 - Visualização dos ocupantes

No entanto, é possível modificar a forma dos ocupantes no menu “View”, recorrendo ao comando “Occupant Display” (ver fig. 55).

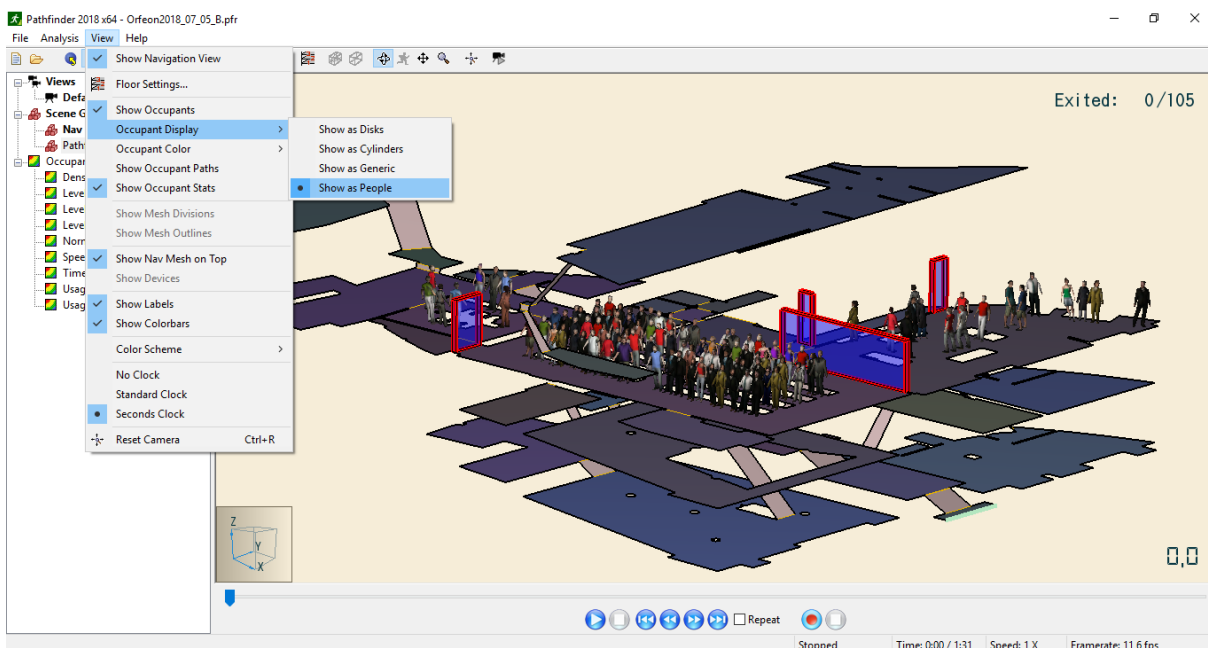


Figura 55 – Comando “Occupant Display”

O comando “*Show Occupant Paths*”, localizado no menu “*View*” é outra ferramenta bastante útil para a observação dos caminhos de evacuação de cada ocupante. Com esta ferramenta ativada, cada ocupante deixa um traço com a cor do grupo a que pertence permitindo observar e interpretar todos os caminhos de evacuação tomados conforme se pode visualizar na figura seguinte.

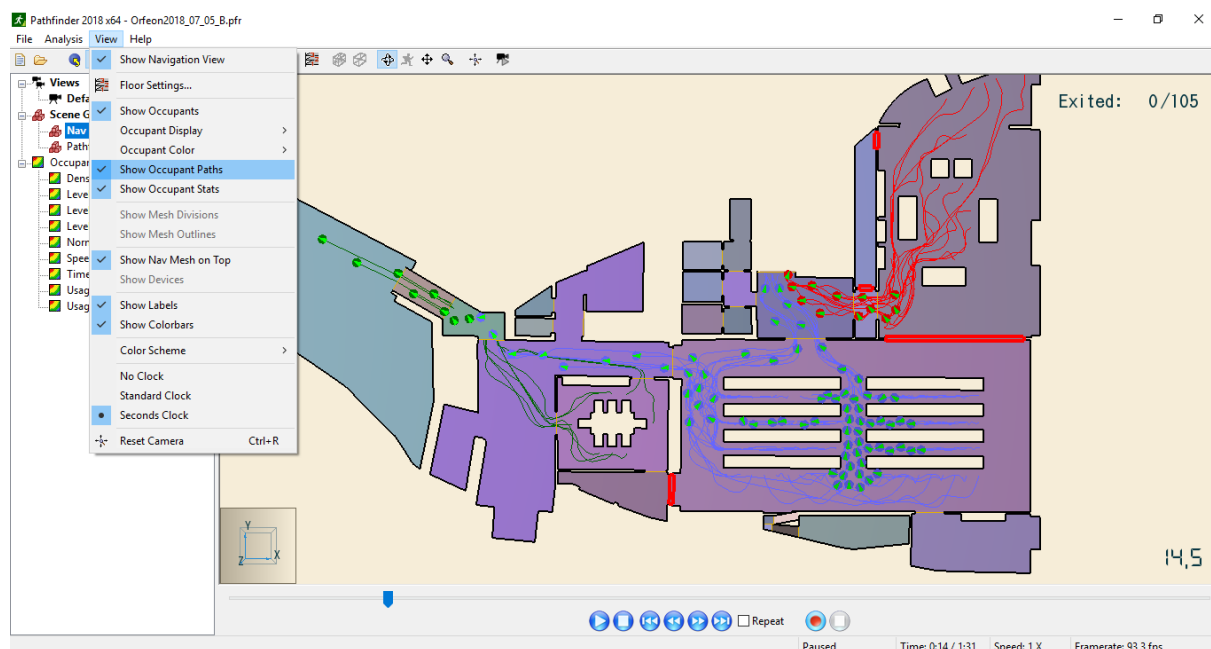


Figura 56 - Caminhos de evacuação

Por fim, o programa disponibiliza diversos parâmetros que permitem a interpretação dos resultados, tais como a densidade de ocupantes por metro quadrado e a velocidade, entre outros (ver fig. 57 e 58).

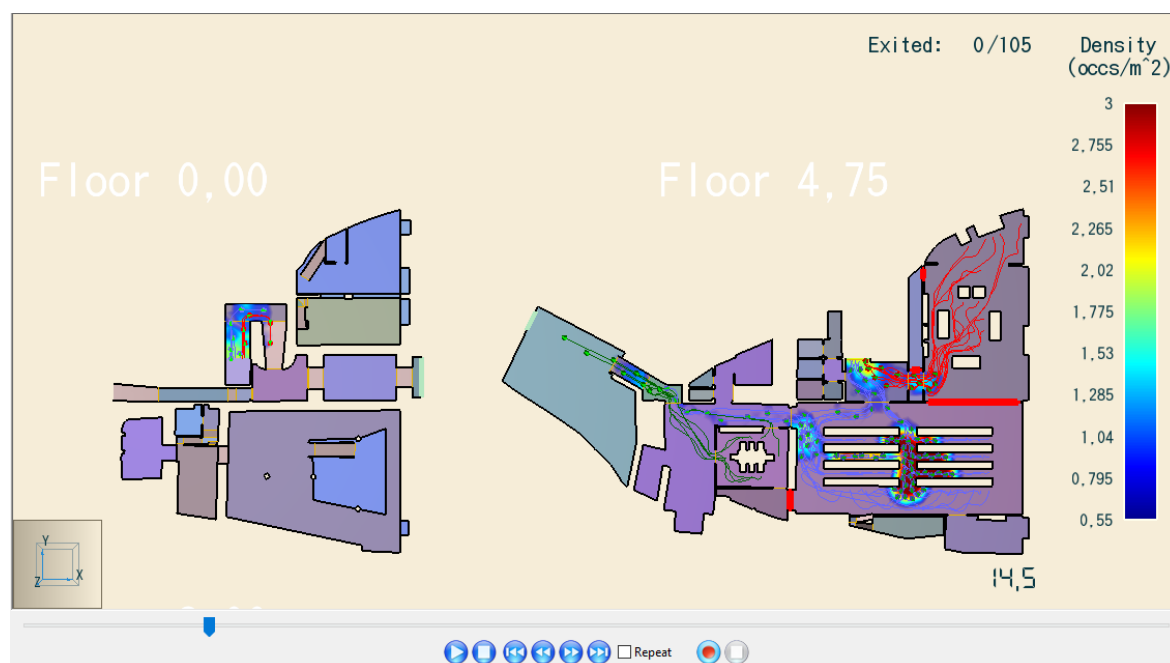


Figura 57 - Densidade de ocupantes por metro quadrado

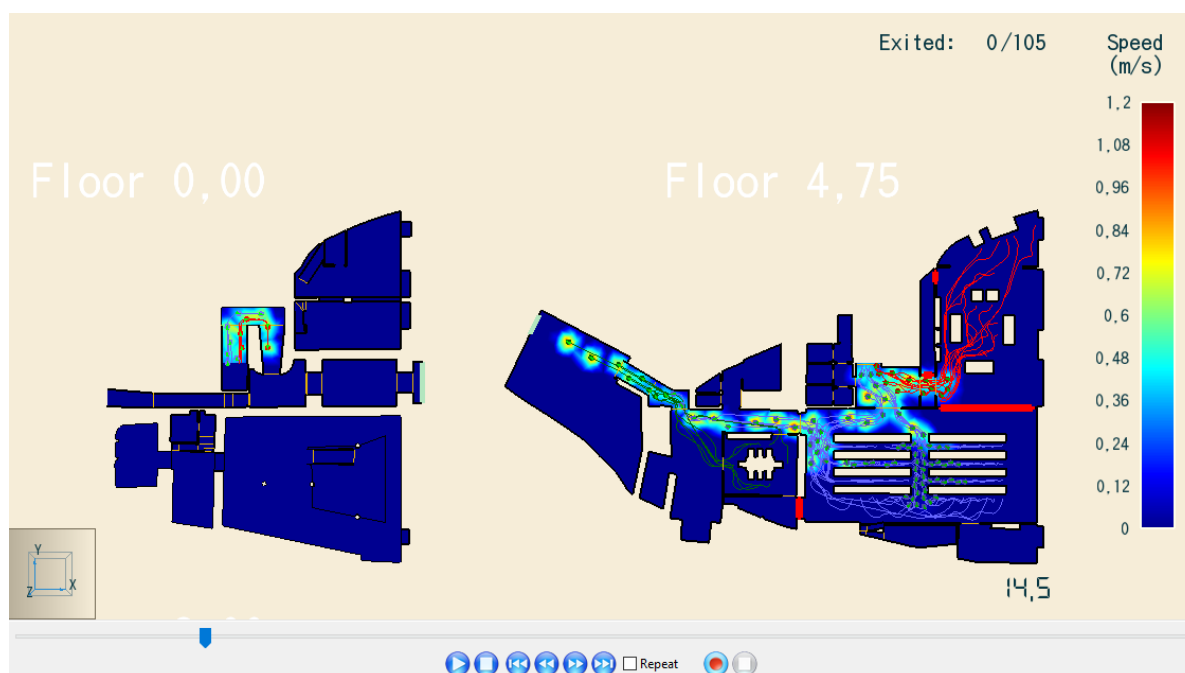


Figura 58 - Velocidade dos ocupantes

6. APLICAÇÃO E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

6.1. Introdução

Na utilização dos programas Pyrosim e Pathfinder foram elaborados modelos com medidas de combate a incêndio e, para efeitos de comparação, tendo por objetivo a avaliação do impacto das medidas implementadas na evolução do fogo no interior do edifício, elaborou-se um modelo sem quaisquer medidas de combate, que foi designado de modelo A. O início de incêndio é igual para todos os modelos, sendo a sua localização no salão de eventos, junto às janelas da fachada principal na Rua Direita (ver fig. 59).



Figura 59 - Local de início de incêndio

6.2. Modelos FDS com recurso ao software Pyrosim

De seguida descreve-se cada um dos modelos FDS elaborados no programa Pyrosim, as medidas de combate ao incêndio implementadas e a avaliação do seu impacto na evolução do incêndio

6.2.1. Modelo A

O modelo A conforme descrito anteriormente é o modelo sem medidas de combate a incêndio implementadas e que servirá de base de comparação entre os vários modelos executados.

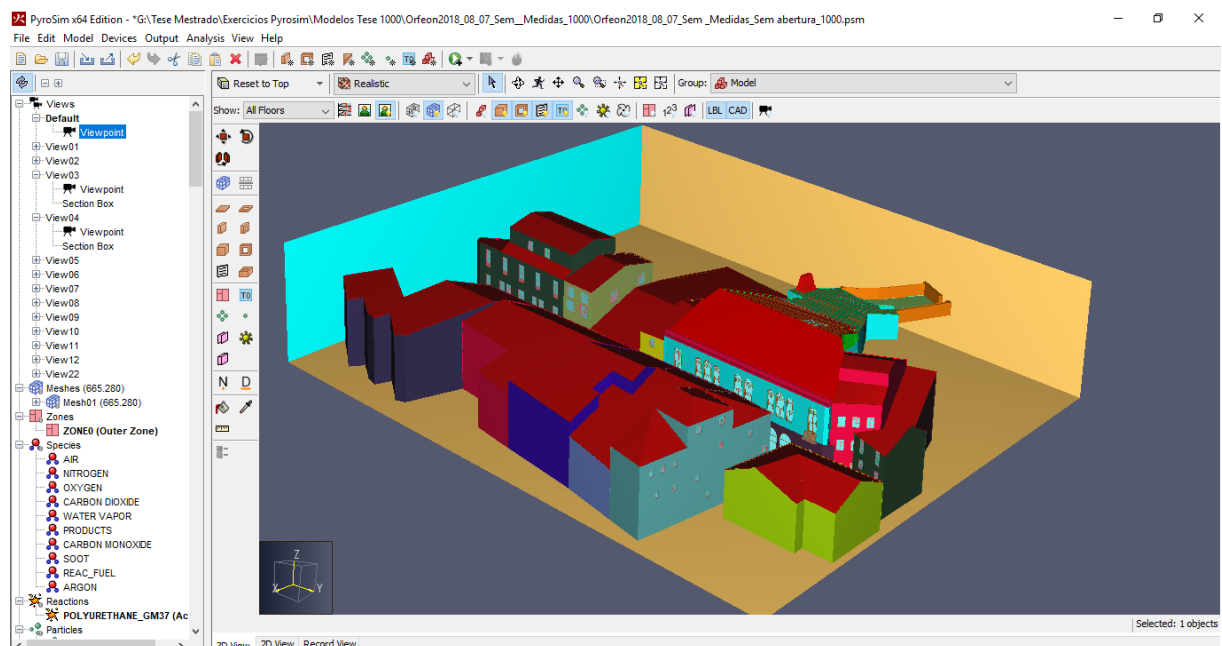


Figura 60 - Modelo A

6.2.2. Modelo B

No modelo B implementou-se um sistema de exaustão composto por três exaustores colocados nas janelas superiores (ver fig. 61) da parede traseira do salão de eventos com saídas pela cobertura do anexo traseiro do edifício (ver fig. 62)

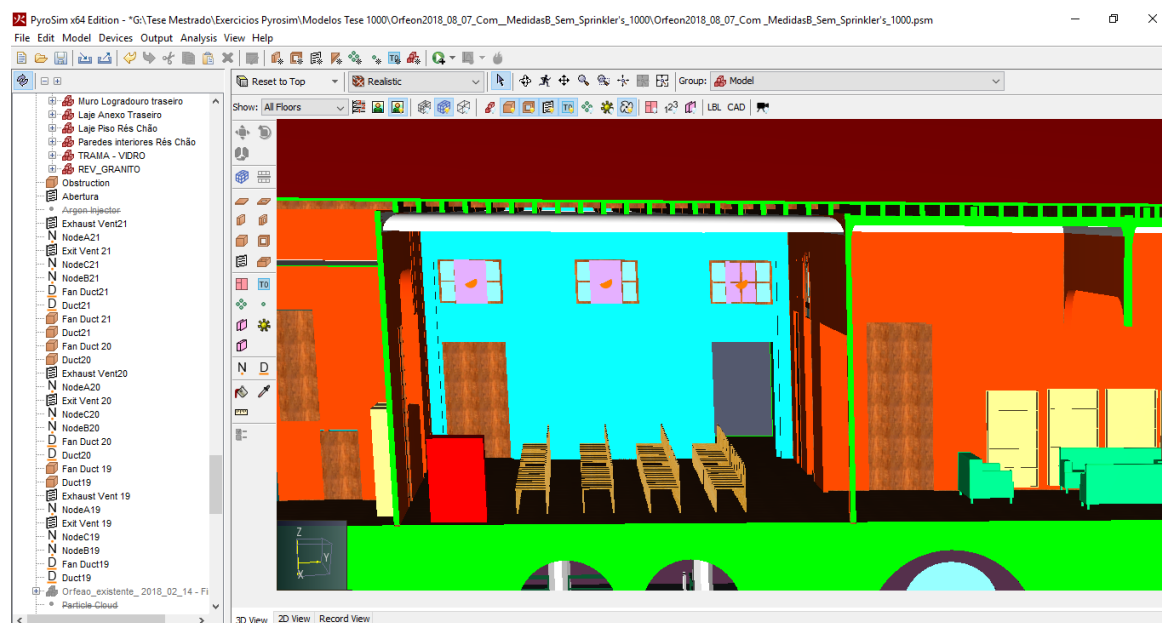


Figura 61 - Exaustores

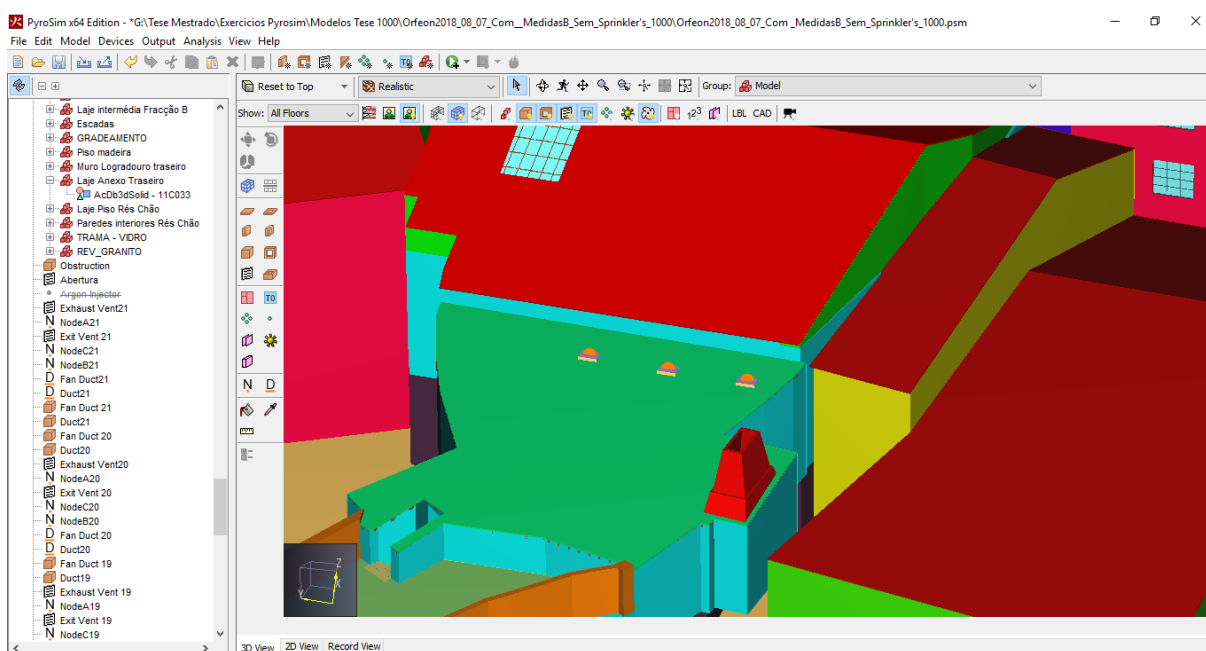


Figura 62 - Saída dos exaustores

Os exaustores foram dimensionados para um caudal de exaustão de fumos de $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ por cada conduta (ver fig. 63) e programados para ativar 15 segundos após o início do incêndio (ver fig.64).

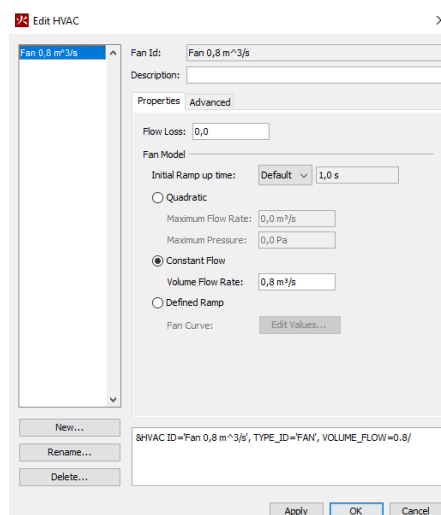


Figura 63 - Caudal de exaustão

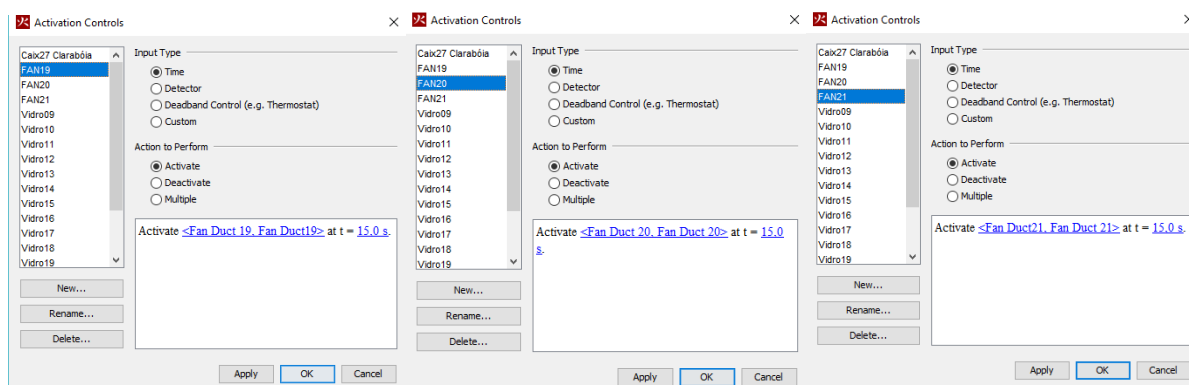


Figura 64 - Tempo de ativação dos exaustores

Implementou-se ainda uma abertura automática da claraboia localizada na cobertura, no topo da caixa de escada de acesso ao primeiro piso, com uma temporização de abertura de 15 segundos após o início do incêndio (ver fig. 65).

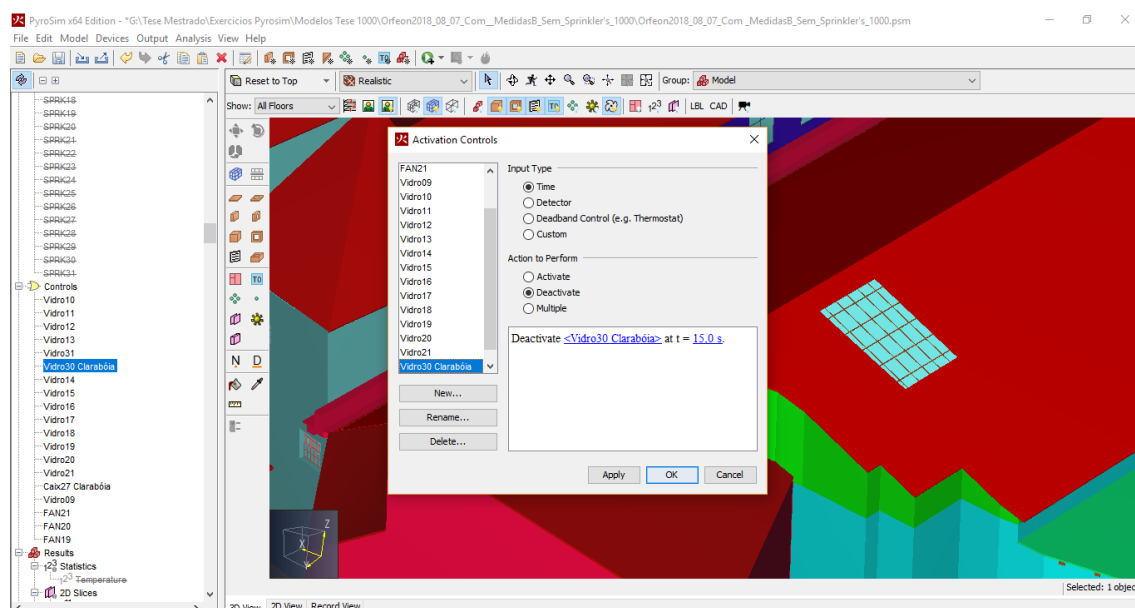


Figura 65 – Abertura de claraboia

6.2.3. Modelo C

No modelo C, para além das medidas implementadas no modelo B, implementou-se um sistema automático de extinção por água com recurso a sprinkler's do tipo dilúvio, inundação total (ver fig. 66).

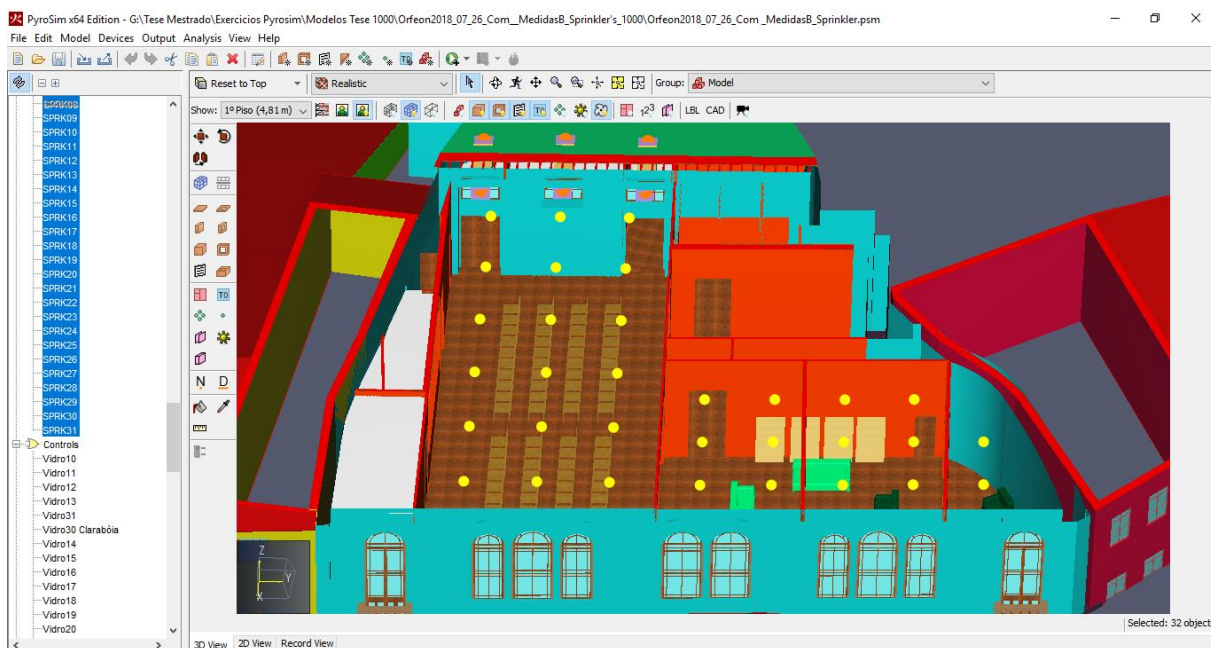


Figura 66 - Sprinkler's a água

Foram implementados 32 sprinkler's, estando 18 unidades no salão de eventos e 14 unidades no salão de leitura. Os sprinkler's tem ativação programada para a temperatura de 74 °C (ver fig.67).

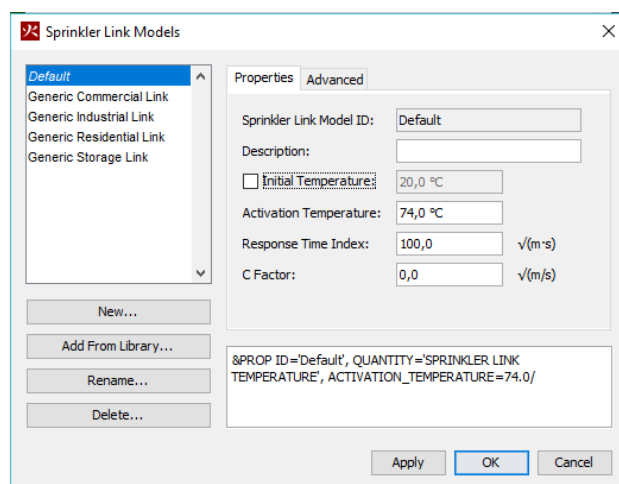


Figura 67 - Temperatura de ativação

Dos vários modelos de sprinkler's disponíveis no programa, selecionou-se o modelo genérico comercial com uma densidade de carga de 56,1 l/min (ver fig. 68).

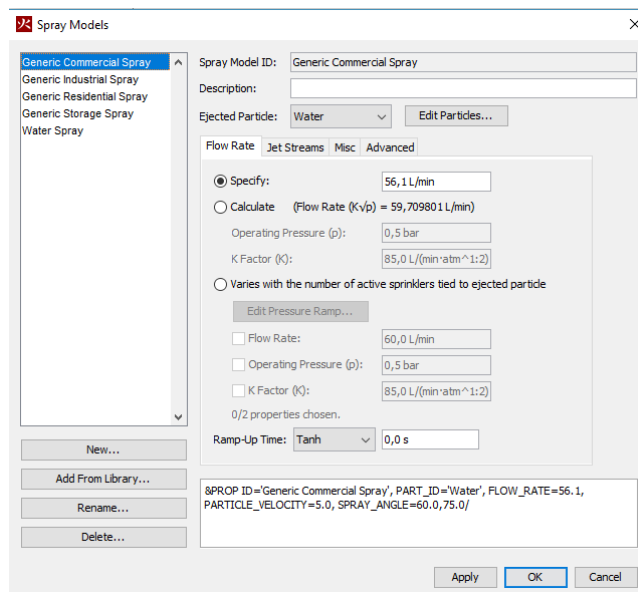


Figura 68 – Modelo de Sprinkler selecionado

6.2.4. Modelo D

Devido à preocupação com a conservação de um edifício histórico que um sistema automático de extinção por água poderia causar, elaborou-se uma alternativa de recurso ao mesmo sistema mas com gás, neste caso árgon, com fluxo de massa de $1664 \text{ kg}/(\text{m}^2.\text{s})$ (ver fig. 70), tendo elaborado um modelo com o mesmo número de sprinkler's a água (ver fig. 69), com ativação programada para 60 segundos após o início do incêndio, devido ao efeito asfíxiante do gás sobre a presença humana (ver fig. 71). De referir que neste modelo se mantêm as medidas de exaustão e de abertura automática de claraboia.

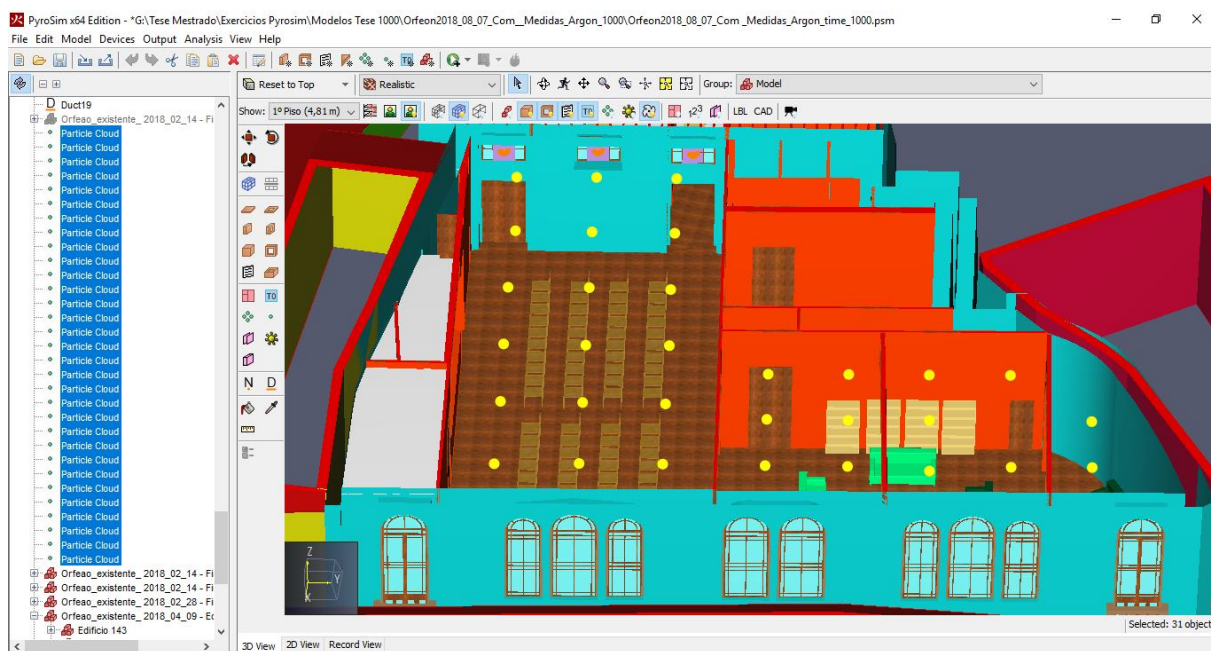


Figura 69 – Sprinkler's a gás

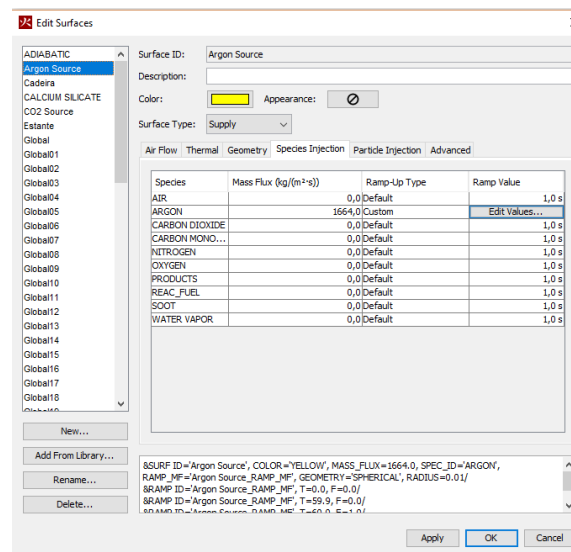


Figura 70 - Fluxo de massa

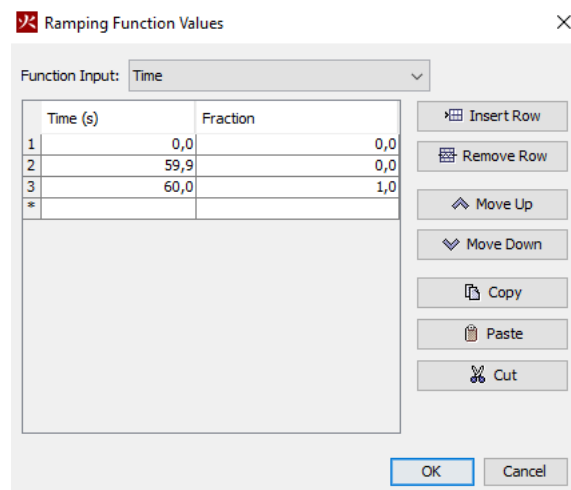


Figura 71 - Tempo de ativação

6.3. Modelo de evacuação com recurso ao software Pathfinder

Na elaboração do modelo de evacuação foram introduzidos 80 ocupantes no salão de eventos (fig. 72), 17 ocupantes no salão de leitura (fig. 73) e 8 ocupantes na sala de reuniões (fig. 74), totalizando 105 ocupantes no edifício no início do incêndio.



Figura 72 - Ocupantes no salão de eventos

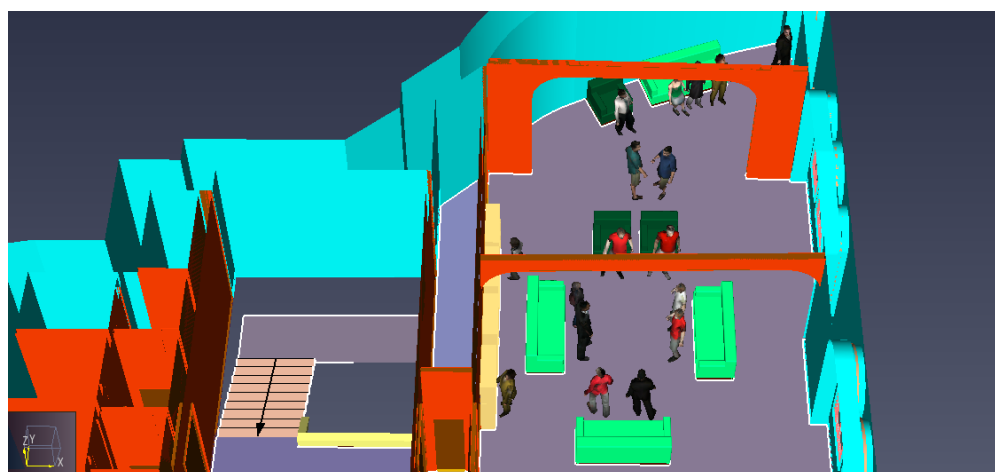


Figura 73 - Ocupantes no salão de leitura

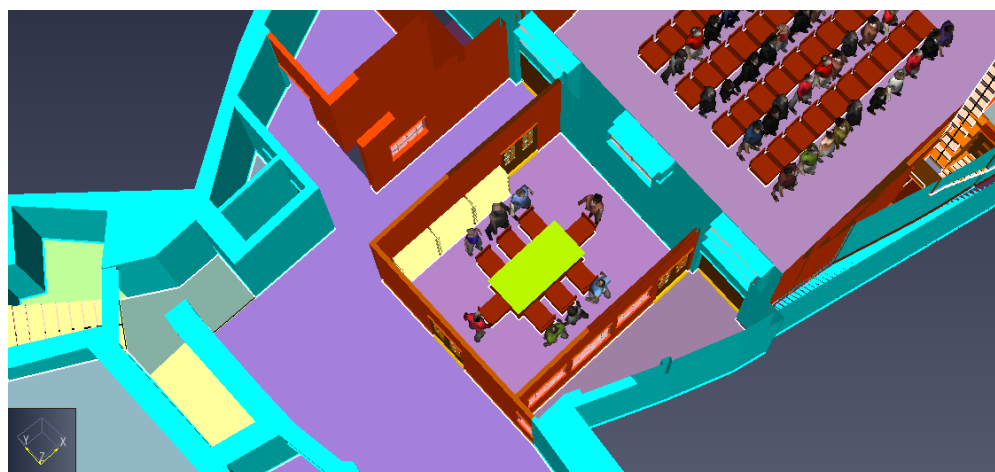


Figura 74 - Ocupantes na sala de reuniões

Como o programa não está dotado com inteligência artificial (IA), obriga ao estabelecimento de pré-definições de perfis dos ocupantes em termos de comportamento e movimento perante um cenário de incêndio, individualmente ou por grupo de pessoas, em aspetos como a escolha de uma das saídas e a velocidade máxima. Deste modo, definiu-se para o grupo de ocupantes do salão de eventos dois comportamentos de escolha da saída de emergência e a sua

distribuição: 60% dos ocupantes escolhem a saída pela porta principal para a rua Direita e 40% escolhem a saída pela porta localizada nas traseiras para a rua Senhora da Boa Morte (ver fig. 75).

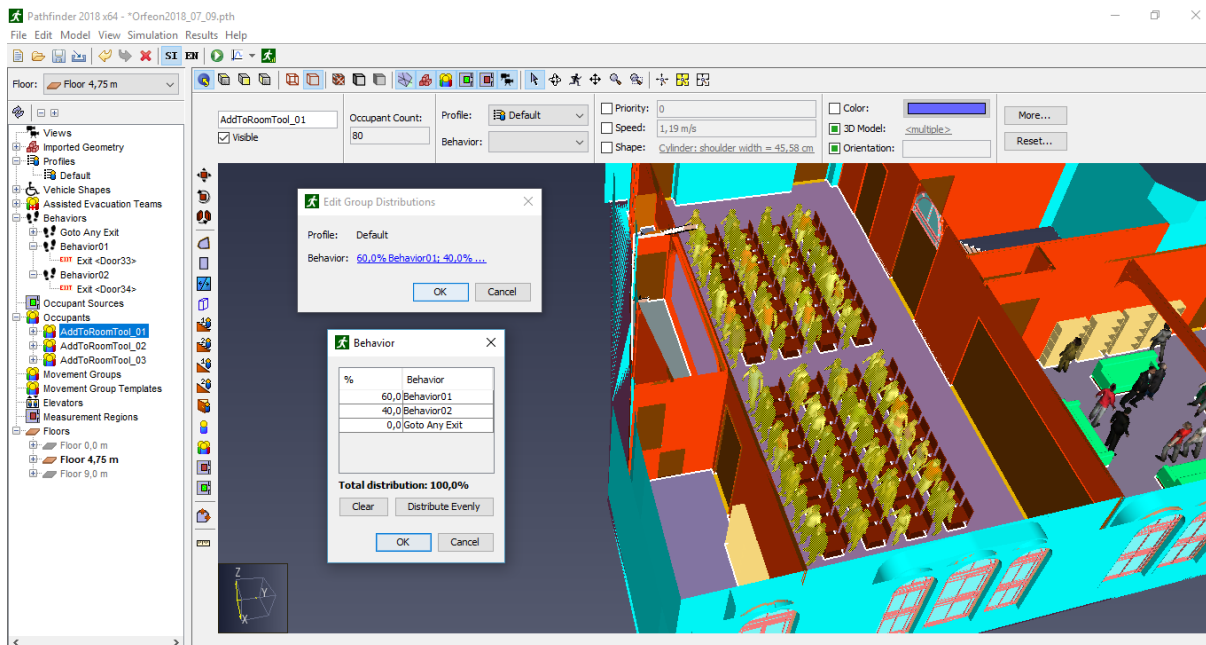


Figura 75 – Definição e distribuição dos comportamentos dos ocupantes do salão de eventos

Para o grupo de ocupantes do salão de leitura definiu-se o comportamento de escolha da saída de emergência pela porta principal (ver fig. 76).

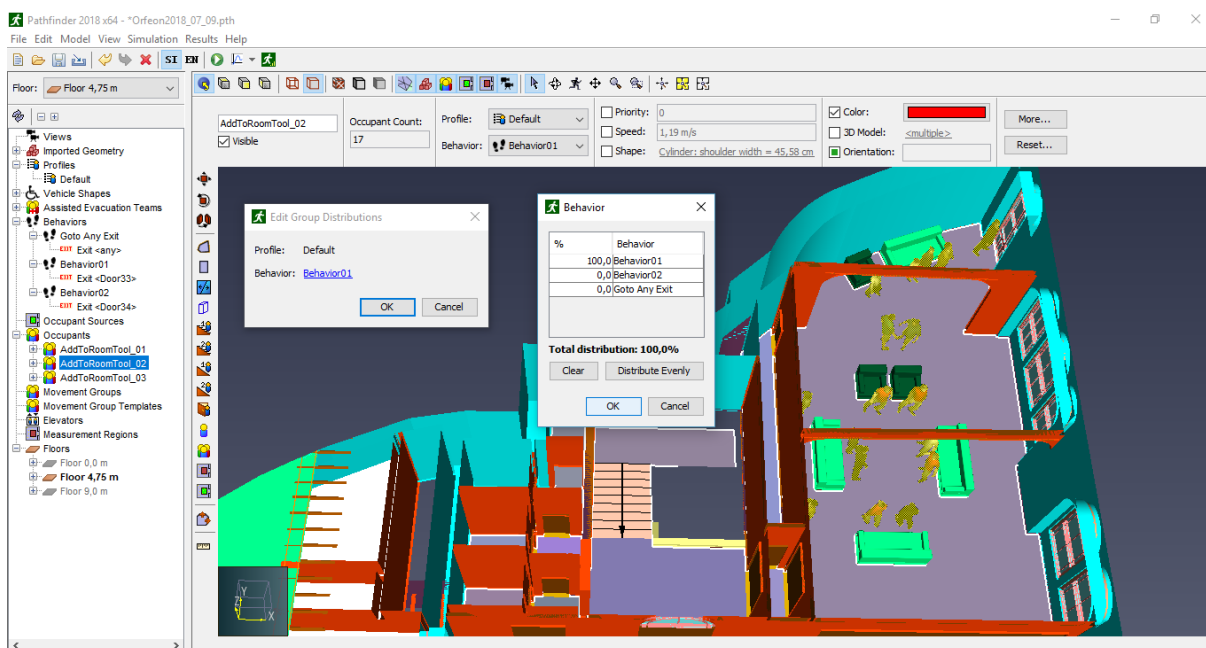


Figura 76 – Definição e distribuição dos comportamentos dos ocupantes do salão de leitura

Para o grupo de ocupantes da sala de reuniões definiu-se o comportamento de escolha da saída de emergência pela porta das traseiras para a rua Senhora da Boa Morte (ver fig. 77).

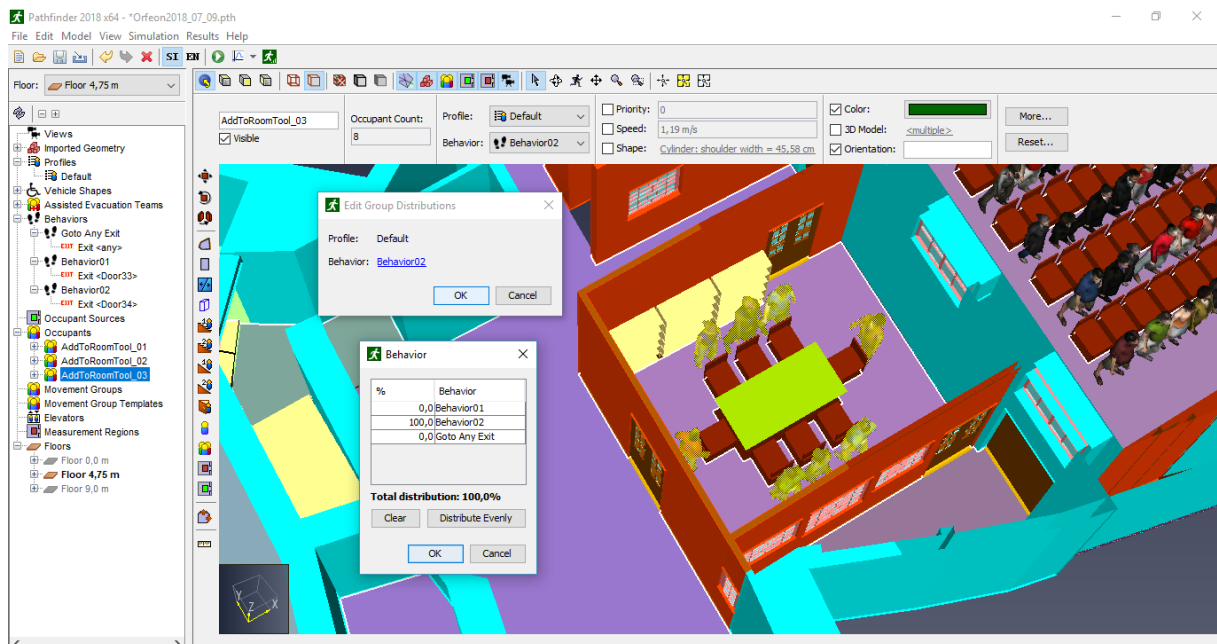


Figura 77 – Definição e distribuição dos comportamentos dos ocupantes da sala de reuniões

Devido à inexistência de um estudo da população que permita definir a velocidade média máxima optou-se por estabelecer, para todos os ocupantes, um valor de 1,19 m/s (fig. 78), segundo os estudos de (Coelho, 1997) e (Pinto, 2008).

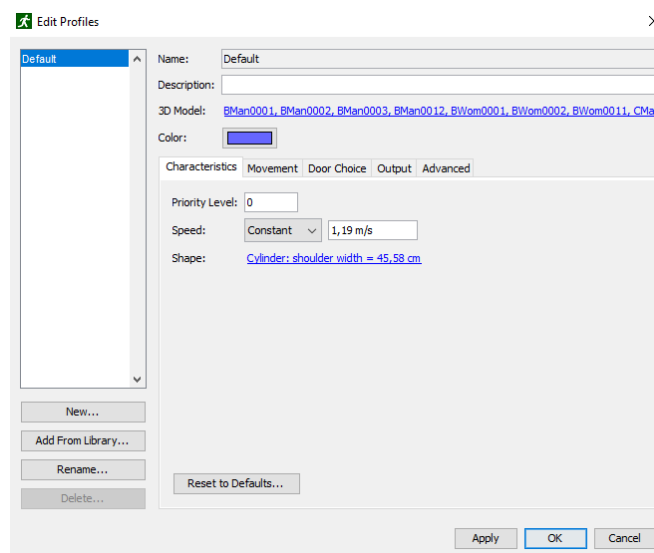


Figura 78 - Velocidade dos ocupantes

6.4. Análise dos resultados da modelação dos incêndios e evacuação

6.4.1. Introdução

Os softwares Pyrosim e Pathfinder permitem a visualização simultânea dos resultados das simulações de incêndio e de evacuação num mesmo visualizador, permitindo assim verificar o desenvolvimento dos fumos e das chamas e comparar com a evacuação dos ocupantes, possibilitando a visualização da sua exposição aos perigos do incêndio em cada instante até à saída do edifício (ver fig. 79).

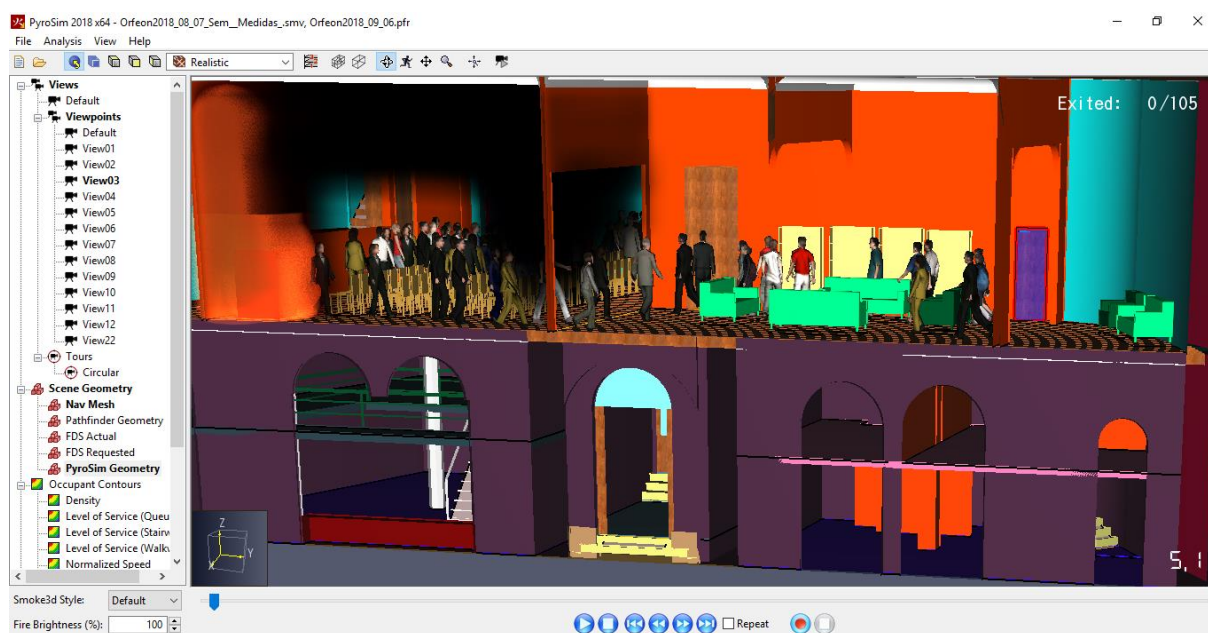


Figura 79 – Visualização simultânea das simulações de incêndio e evacuação

Nas secções seguintes são efetuadas comparações, em dados instantes ao longo da simulação, entre os diversos modelos atrás descritos, permitindo observar o impacto das medidas de combate a incêndio na segurança da evacuação dos ocupantes e, desta forma, verificar qual o melhor conjunto possível de medidas de combate a incêndio no edifício.

6.4.2. Análise e comparação dos resultados entre os diversos modelos – Modelo A

Começa-se por apresentar a visualização dos fumos no modelo A, sem quaisquer medidas de combate ao incêndio, avaliando desenvolvimento dos fumos e temperaturas com recurso a planos (slice) que medem a distância de visibilidade do ocupante e as temperaturas em toda a área no interior do edifício. Foram colocados planos horizontais a diferentes cotas do edifício. Ao nível do Piso 1 colocaram-se dois planos, a 0,70 metros e 2,70 metros de altura do piso, respetivamente cotas 5,50 e 7,50 metros. De referir que para uma melhor perceção em algumas perspetivas optou-se por alterar a imagem dos ocupantes para cilindros.

Verifica-se que, aos cinco segundos, parte da zona do teto e na comunicação entre os dois salões já se encontram preenchidos de fumo conforme se pode constatar nas figuras 80 a 83.

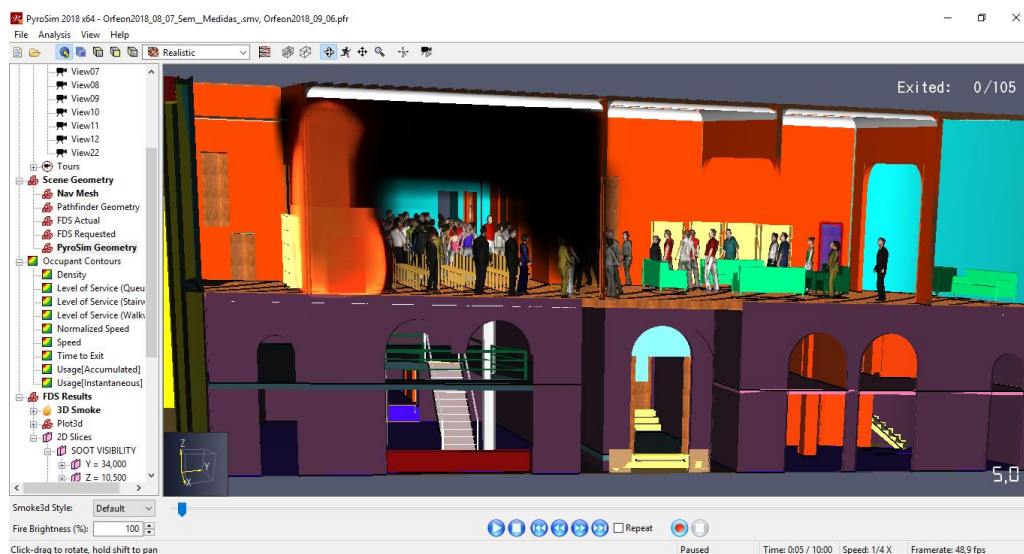


Figura 80 - Modelo A aos cinco segundos

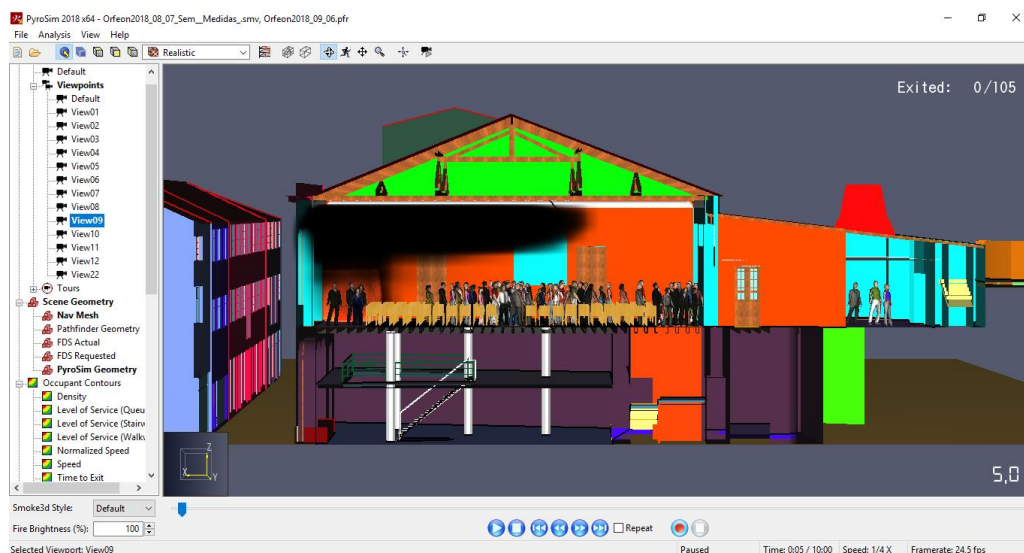


Figura 81 - Modelo A aos 5 segundos

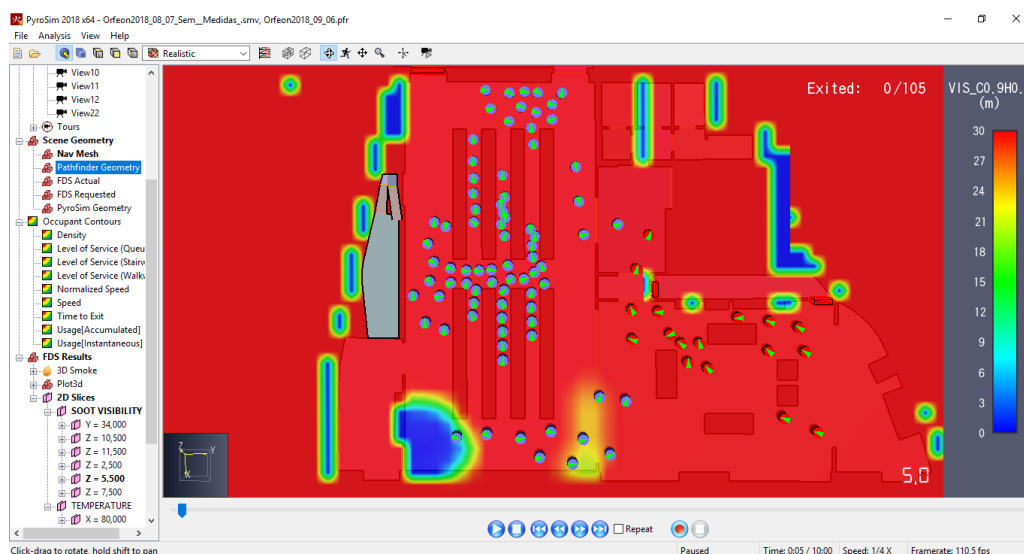


Figura 82 - Plano de visibilidade à cota 5,50 metros aos 5 segundos

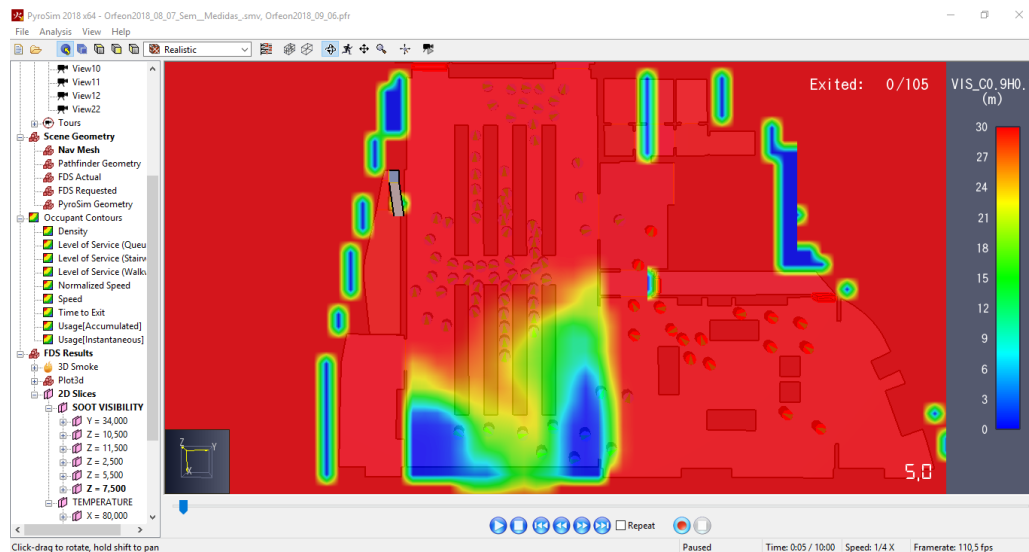


Figura 83 - Plano de visibilidade à cota 7,50 metros aos 5 segundos

Aos 10,60 segundos surge o primeiro problema grave para os ocupantes na saída do salão de eventos para o corredor do anexo traseiro onde se acumula o fumo provocando a diminuição da visibilidade (fig. 84 e fig.85).

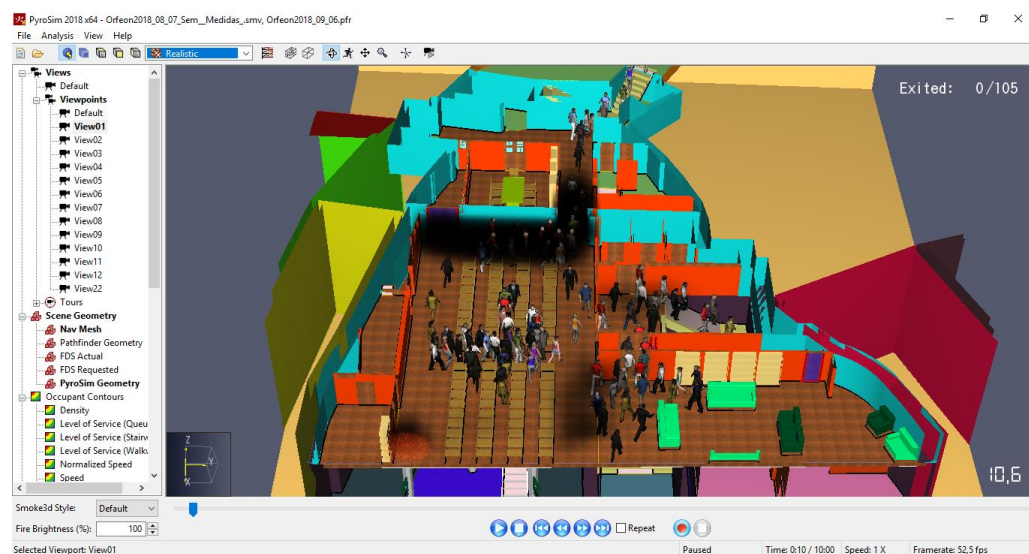


Figura 84 - Modelo A aos 10,60 segundos

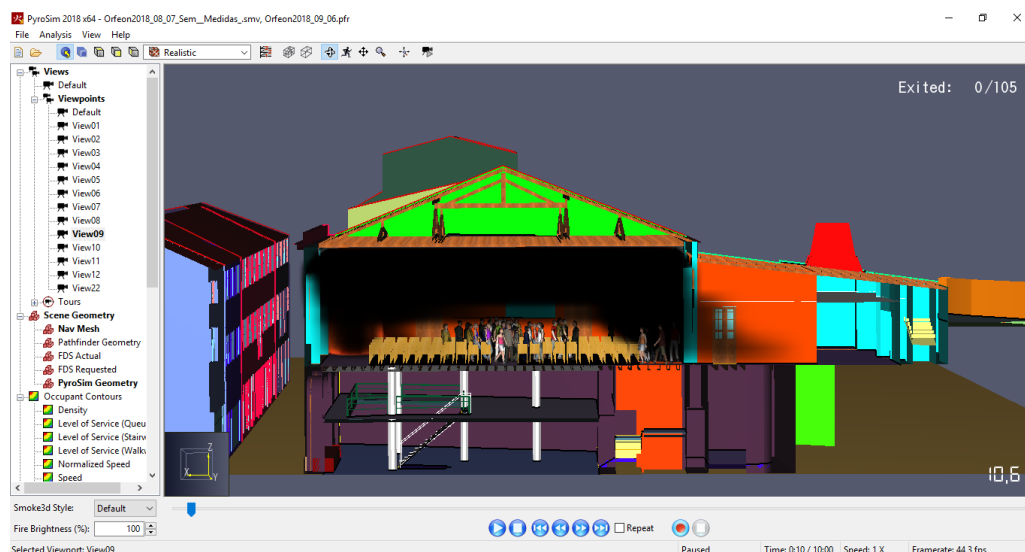


Figura 85 - Modelo A aos 10,60 segundos

Aos 23,60 segundos o salão de eventos e o corredor do anexo traseiro encontram-se preenchidos pelo fumo e a caixa de escadas começa a ficar preenchida, tornando-se mais difícil a evacuação nas duas saídas (fig. 86 a 92).

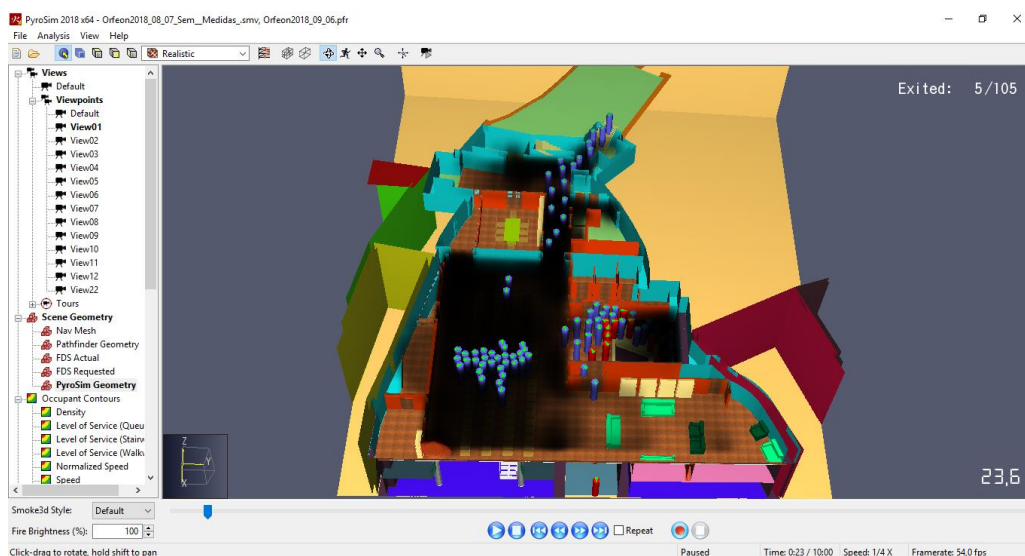


Figura 86 - Modelo A aos 23,60 segundos

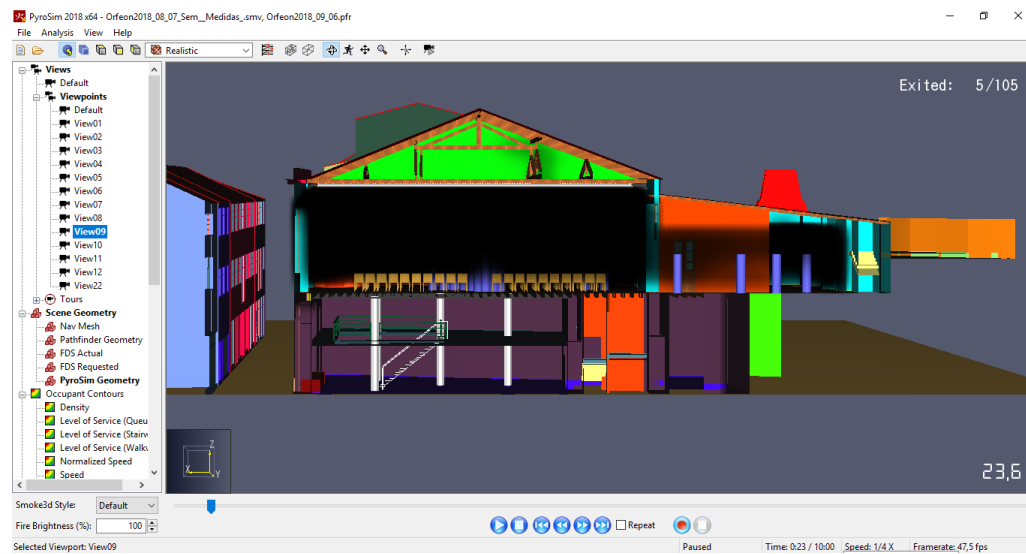


Figura 87 - Modelo A aos 23,60 segundos

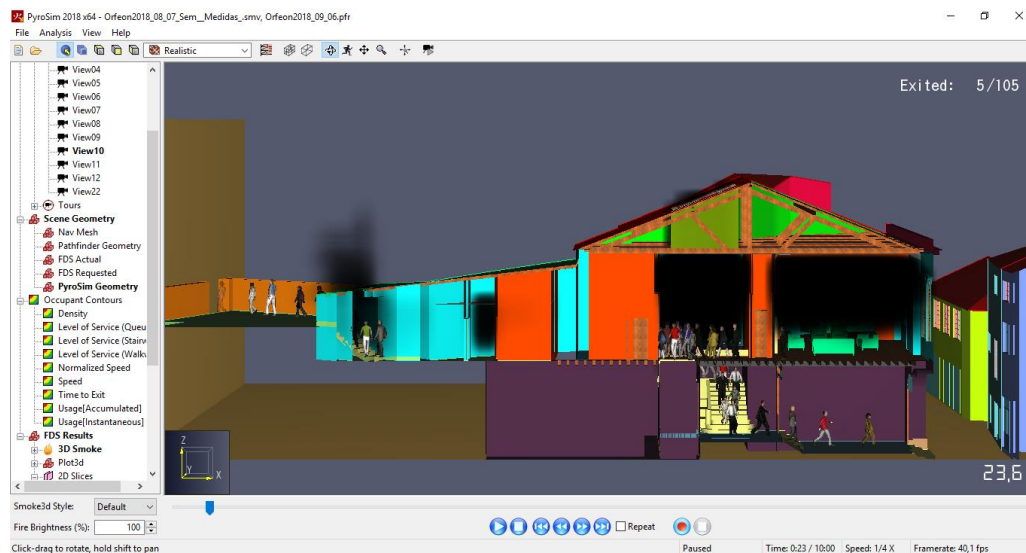


Figura 88 – Caixa de escada e corredor do piso zero aos 23,60 segundos

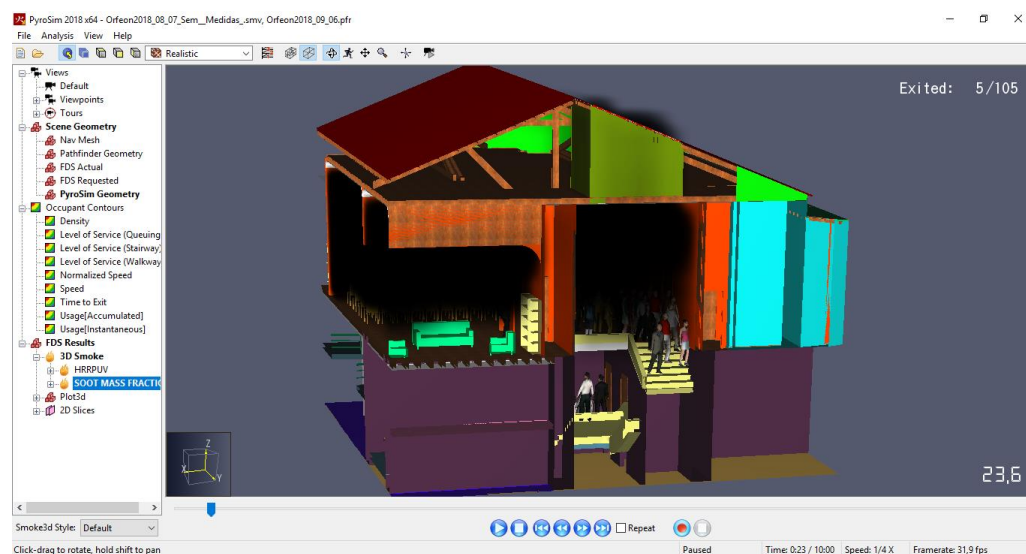


Figura 89 – Caixa de escada aos 23,60 segundos

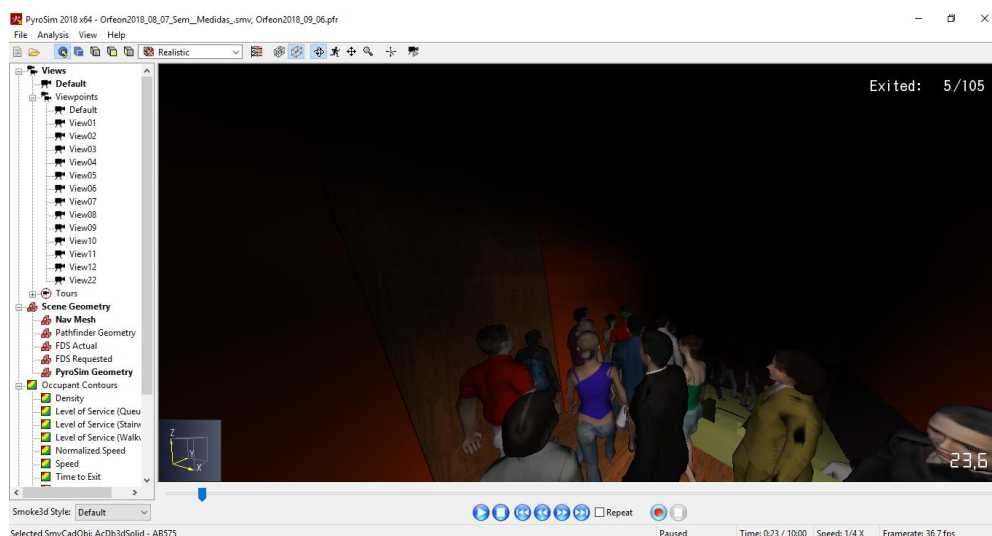


Figura 90 – Perspetiva do interior da caixa de escadas ao nível do piso 1

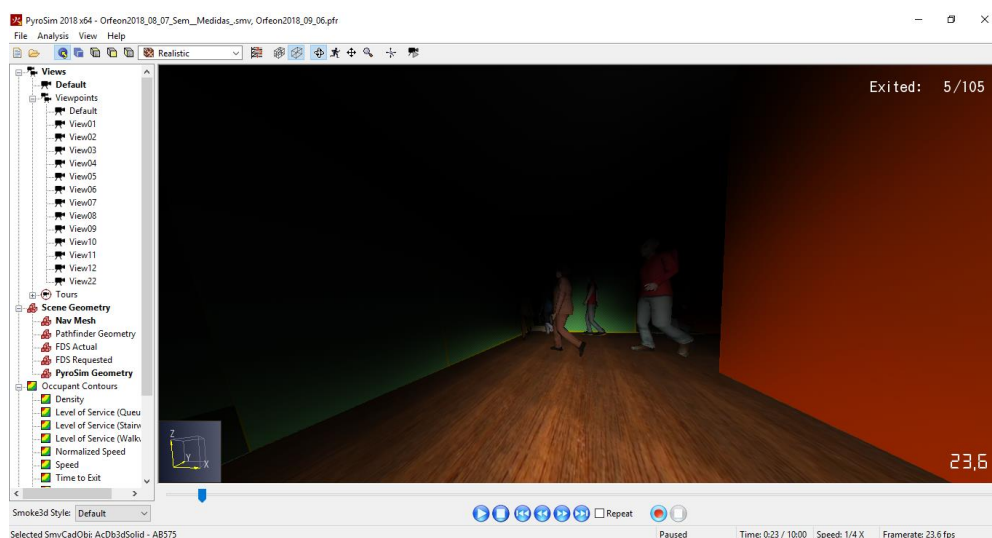


Figura 91 – Perspetiva da saída para as escadas de acesso ao terraço

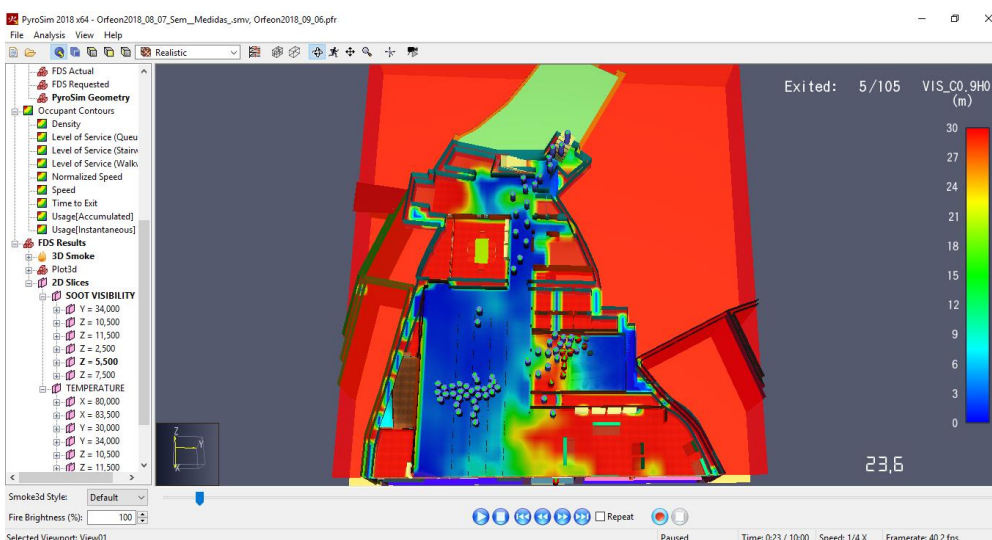


Figura 92 – Plano de visibilidade à cota 5,50 metros aos 23,60 segundos

Constata-se que o número de ocupantes no salão de eventos e a disposição das cadeiras com apenas um corredor localizado a meio criou uma situação de bloqueio, com 30 ocupantes a partir do segundo 15,1 até ao segundo 33,7, perfazendo um período de 18,6 segundos que colocam os ocupantes em perigo de vida (ver fig. 93). Conforme se pode visualizar pela figura 94, a partir do segundo 20,10 os ocupantes estão totalmente envolvidos pelo fumo, evidenciando o elevado perigo de asfixia. Para evitar esta situação, deve ser reduzido o número de ocupantes no salão de eventos e criar uma disposição de cadeiras com mais corredores permitindo uma maior fluidez na evacuação.

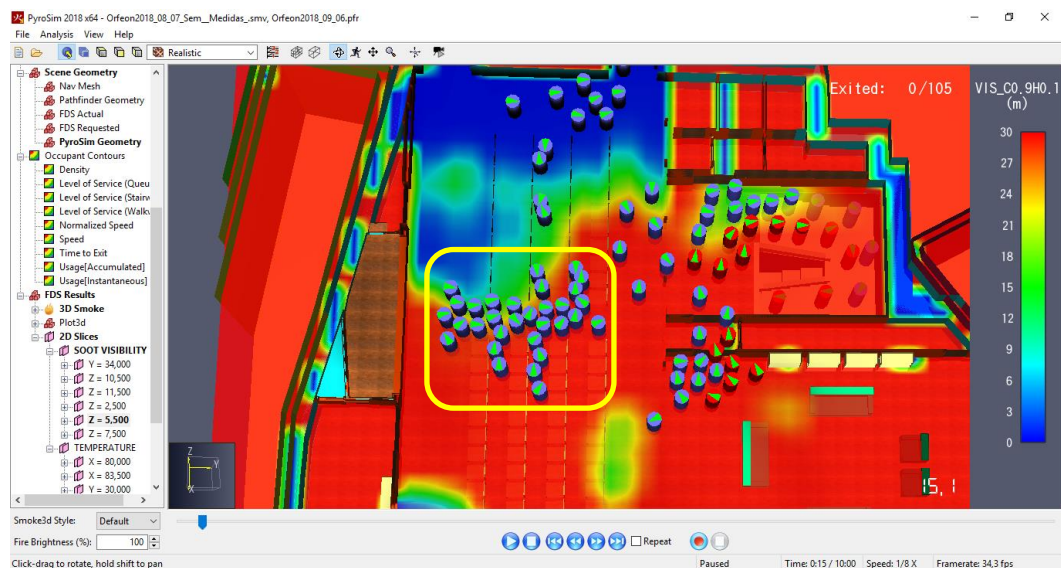


Figura 93 – Grupo de ocupantes bloqueados no salão de eventos

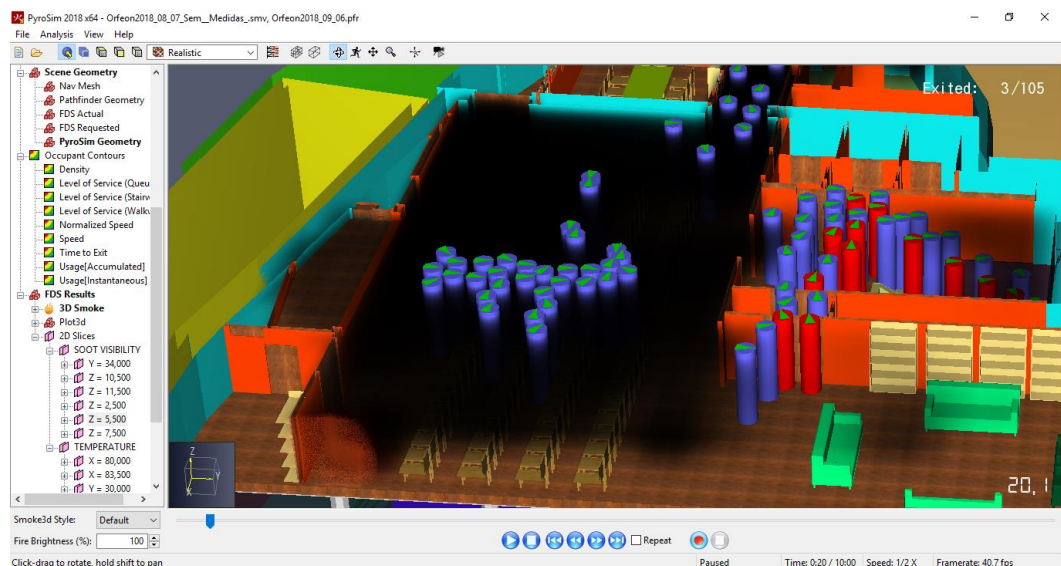


Figura 94 – Grupo de ocupantes envolvidos pelo fumo

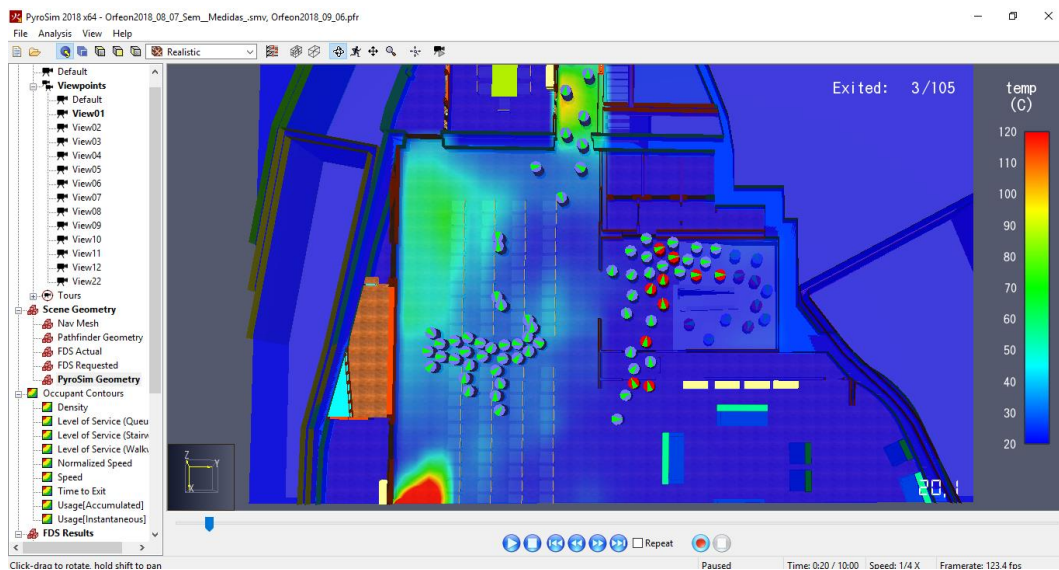


Figura 95 – Plano de temperaturas à cota 5,50 metros aos 20,10 segundos

A simulação da evacuação, em conjunto com a simulação do incêndio, permitem concluir que a partir do segundo 20,10 os ocupantes encontram-se em risco de asfixia por inalação do fumo resultante do incêndio, identificando a necessidade de implementação de medidas de combate a incêndio.

Quanto ao desenvolvimento do incêndio e a possibilidade de propagação para o exterior, verifica-se que apenas os vidros das três janelas mais próximas do foco do incêndio se quebram nos instantes 103,80, 150,20 e 151,60 segundos (ver fig. 96), não existindo mais ocorrências que possam proporcionar a propagação das chamas para os edifícios vizinhos até ao fim do período de 600 segundos da simulação.

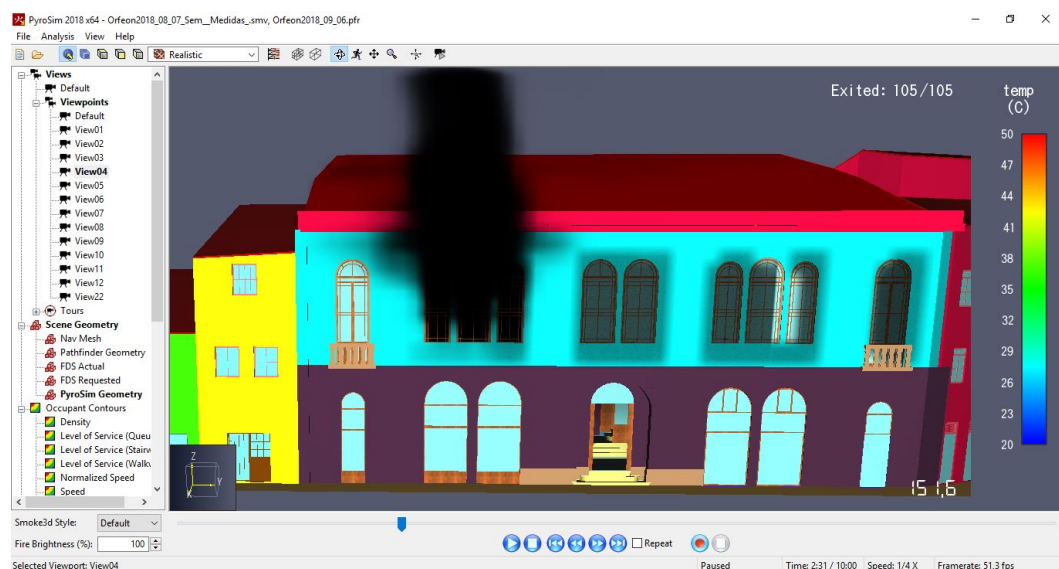


Figura 96 – Quebra de vidros no modelo A

Para visualização das temperaturas de modo a verificar a possibilidade de propagação das chamas para os edifícios vizinhos criaram-se planos de medição das temperaturas localizados junto às fachadas principais dos edifícios vizinhos nos dois lados da rua Direita (ver fig. 97).

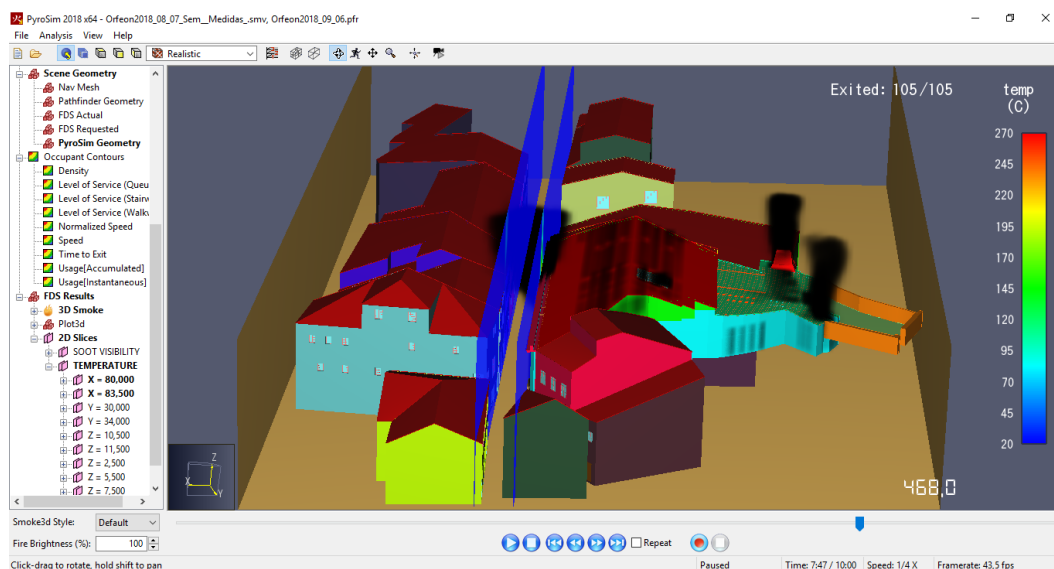


Figura 97 – Planos de temperaturas nas fachadas principais dos edifícios da rua Direita

Constatou-se, após a análise dos planos de temperatura em todo o período de tempo da simulação, que as temperaturas não atingem valores que proporcionem a propagação do incêndio para os edifícios vizinhos com os valores máximos a não ultrapassarem os 270 °C para o plano da fachada principal do edifício em estudo (fig. 98) e 50 °C para o plano das fachadas opostas na mesma rua (fig. 99) .

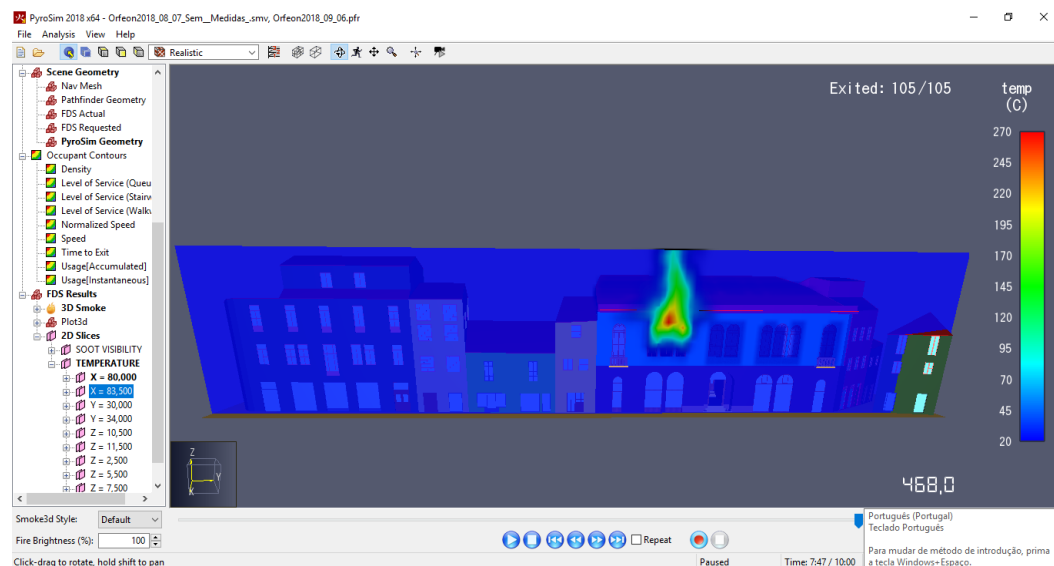


Figura 98 – Plano de temperatura na fachada principal do edifício do antigo Orfeão e edifícios vizinhos

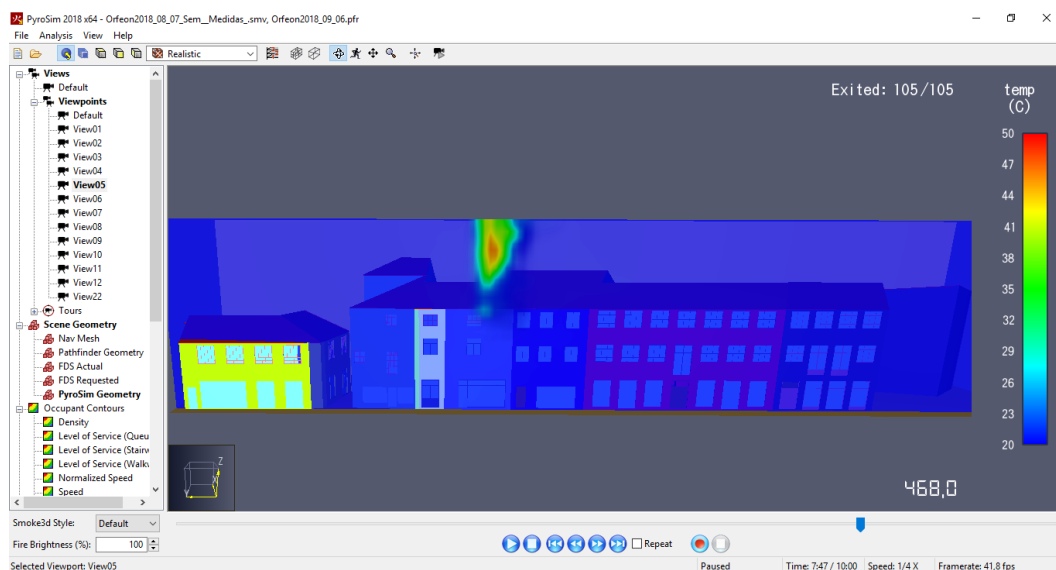


Figura 99 – Plano de temperatura nas fachadas principais dos edifícios vizinhos opostos ao antigo Orfeão

A análise dos gráficos das leituras de temperaturas dos sensores (ver fig. 100), colocados na caixa de escadas e no corredor da entrada principal do edifício, permite concluir que, na zona do hall das escadas no primeiro piso, a partir do instante $t = 20$ segundos, a temperatura atinge valores elevados que põem em risco a segurança dos ocupantes comprometendo o sucesso da evacuação. Verifica-se também que todos os sensores, à exceção do sensor do hall de escadas do primeiro piso, têm uma descida repentina da temperatura que coincide com a quebra de vidros das janelas do salão de eventos.

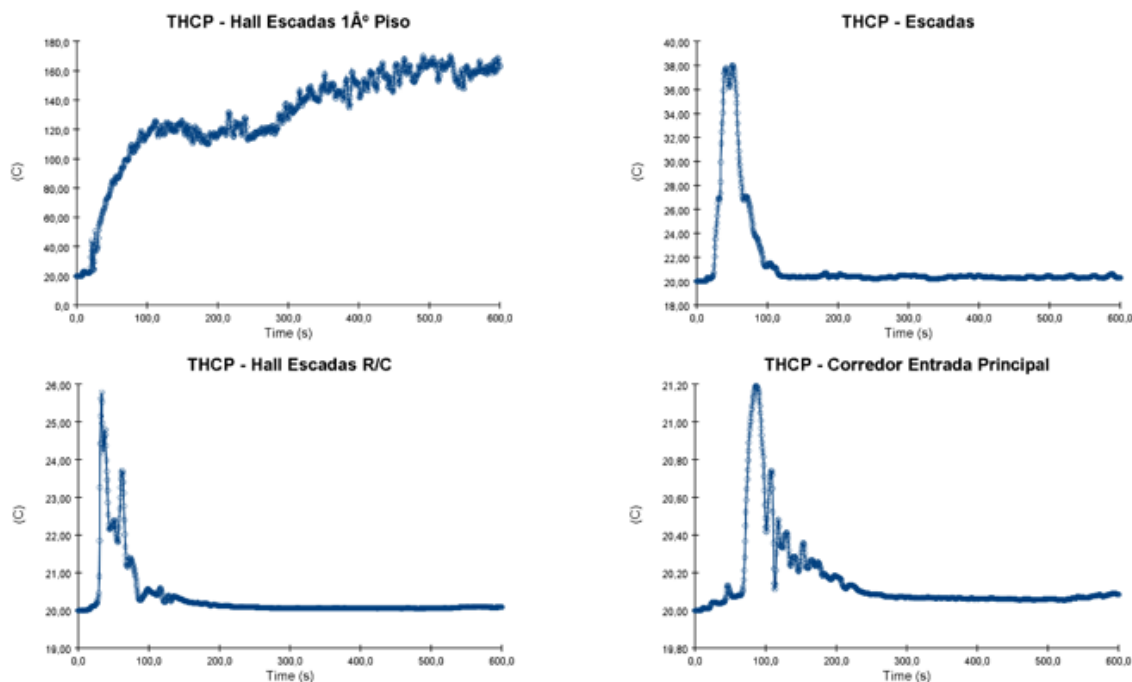


Figura 100 – Leitura de temperaturas na caixa de escadas e corredor da entrada principal – Modelo A

6.4.3. Análise e comparação dos resultados entre os diversos modelos – Modelo B

No modelo B, o desenvolvimento do incêndio é idêntico ao modelo A até aos 15 segundos, altura em que entram em funcionamento os exaustores de fumos colocados no salão de eventos e a abertura automática da claraboia na caixa de escadas (ver fig. 101).

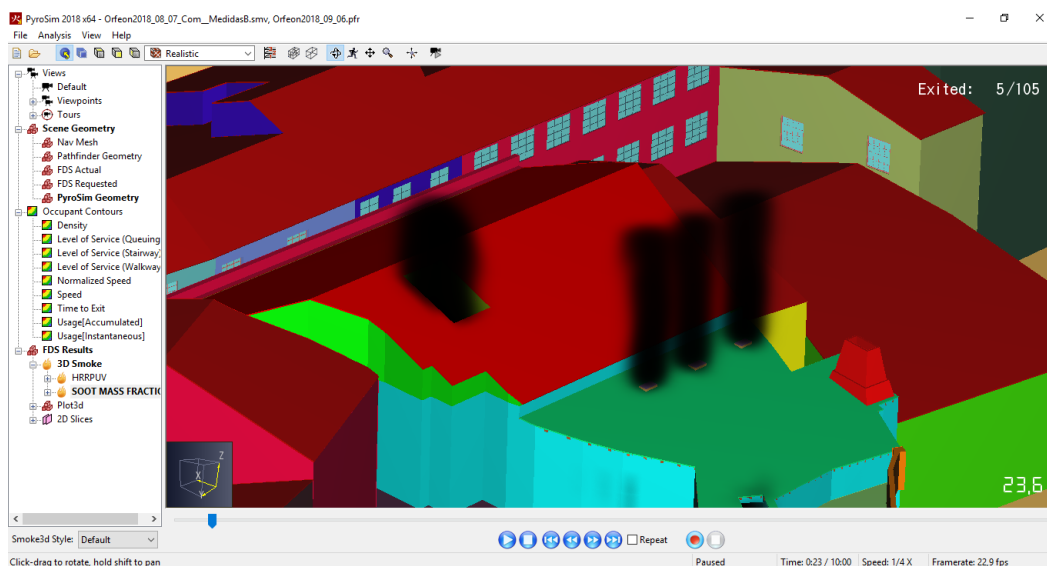


Figura 101 - Exaustores em funcionamento e claraboia aberta

As medidas já descritas tiveram influência no desenvolvimento dos fumos sendo notório no caso da abertura da claraboia que permitiu a saída do fumo desimpedindo a caixa de escada e consequentemente melhorando a visibilidade para os ocupantes (ver fig. 102 e 103) em comparação com o modelo A sem as medidas de combate ao incêndio para o mesmo instante t igual a 23,60 segundos.

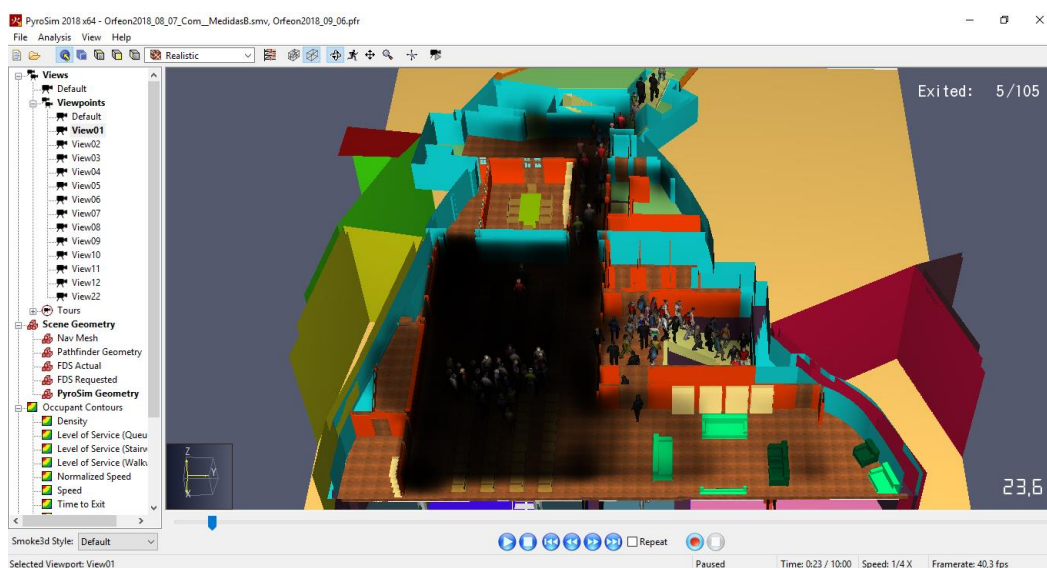


Figura 102 – Modelo B aos 23,60 segundos

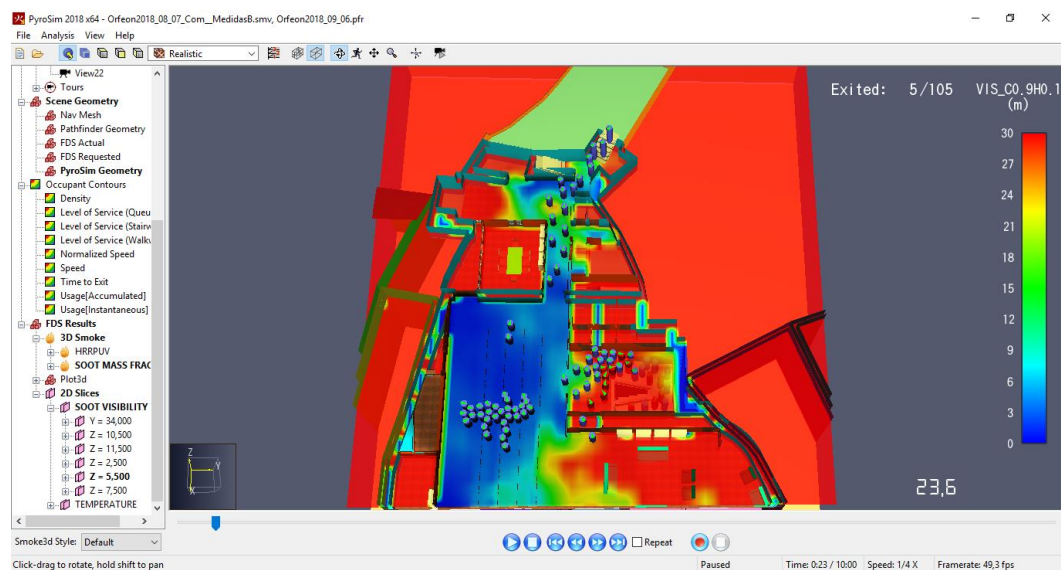


Figura 103 – Plano de visibilidade à cota 5,50 metros aos 23,60 segundos

Nas figuras 104 e 105 é possível visualizar a melhoria na visibilidade na caixa de escada comparativamente ao modelo A.

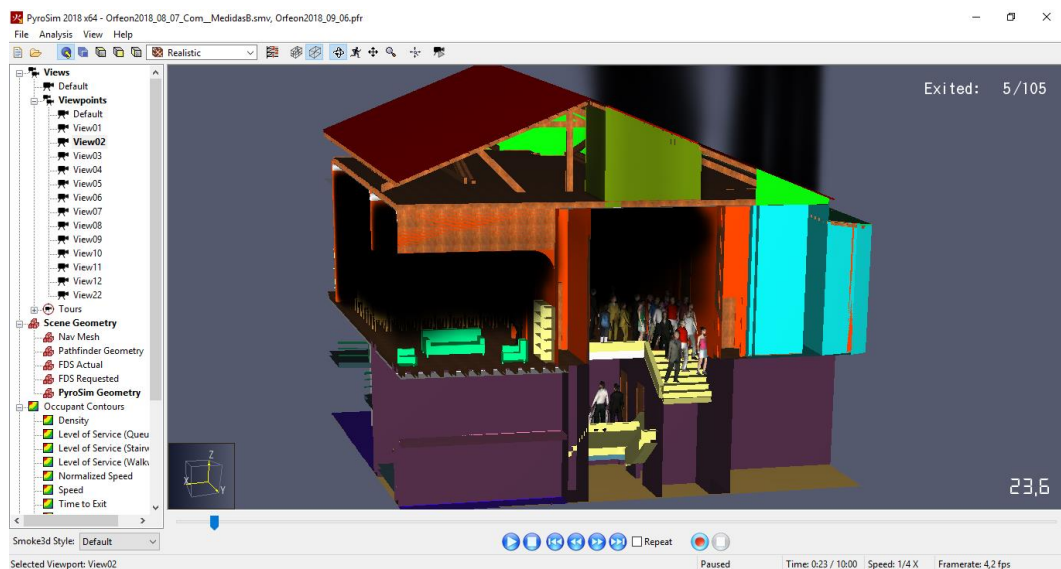


Figura 104 – Caixa de escada aos 23,60 segundos



Figura 105 – Perspectiva do interior da caixa de escadas ao nível do piso 1

No caminho de evacuação para a rua da Senhora da Boa Morte, existe uma melhoria da visibilidade na zona do corredor junto à saída do salão de eventos para o anexo traseiro (ver fig. 106).

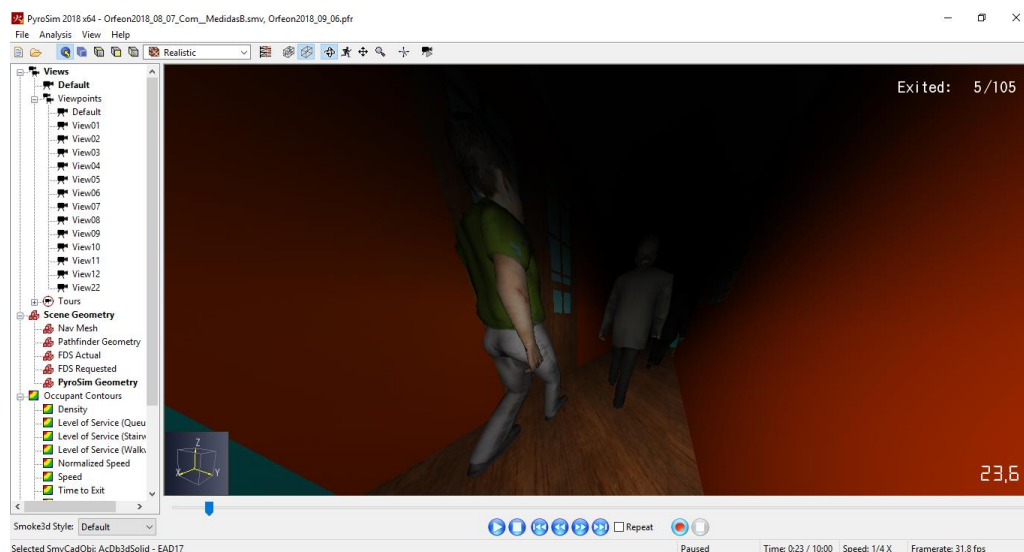


Figura 106 – Perspectiva do corredor junto à saída do salão de eventos para o anexo traseiro

Nas figuras 107 e 108 é possível verificar a melhoria da visibilidade dos ocupantes no caminho de evacuação.

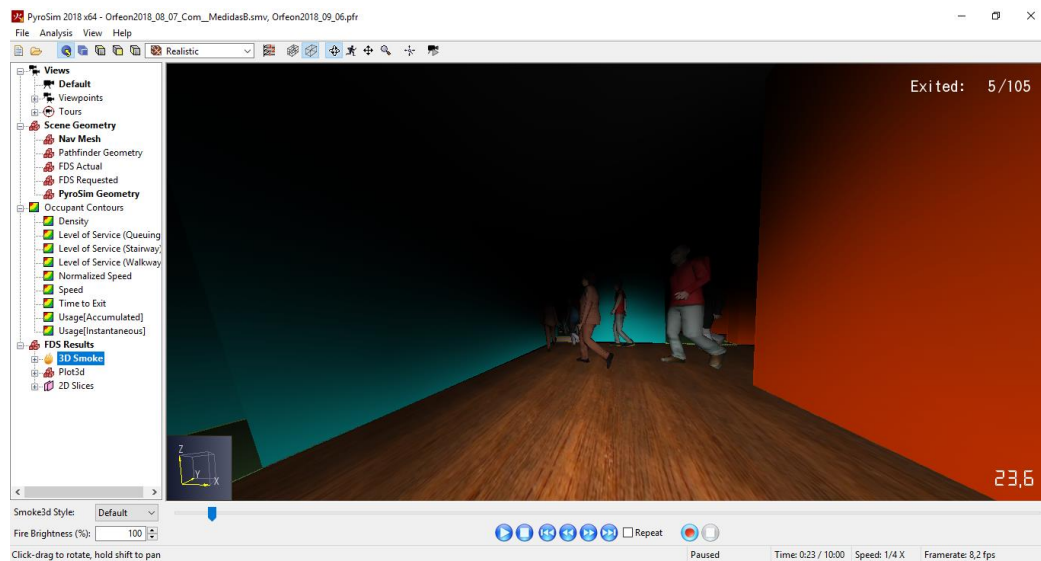


Figura 107 – Perspectiva da saída para as escadas de acesso ao terraço junto à rua Senhora da Boa Morte

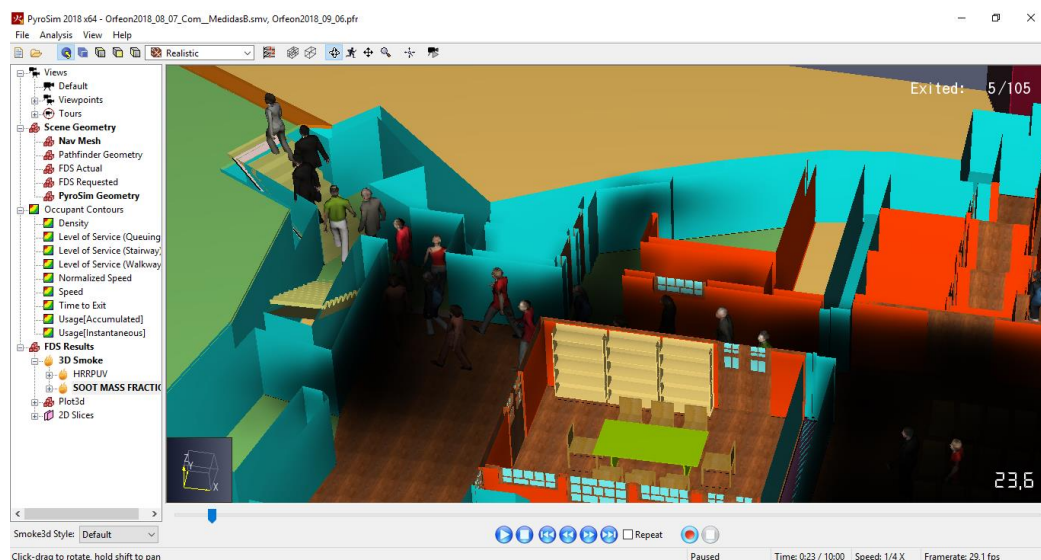


Figura 108 – Corredor e escadas de acesso ao terraço junto à rua Senhora da Boa Morte

No modelo B, apesar das medidas implementadas, continua a existir quebra dos vidros das três janelas da fachada principal mais próximas do foco de incêndio, no entanto, a sua ocorrência dá-se mais tarde para os instantes 133, 278,6 e 282,2 segundos (ver fig. 109). Tal como no modelo A, não existem mais ocorrências que possam proporcionar a propagação das chamas para os edifícios vizinhos até ao fim do período de 600 segundos da simulação.

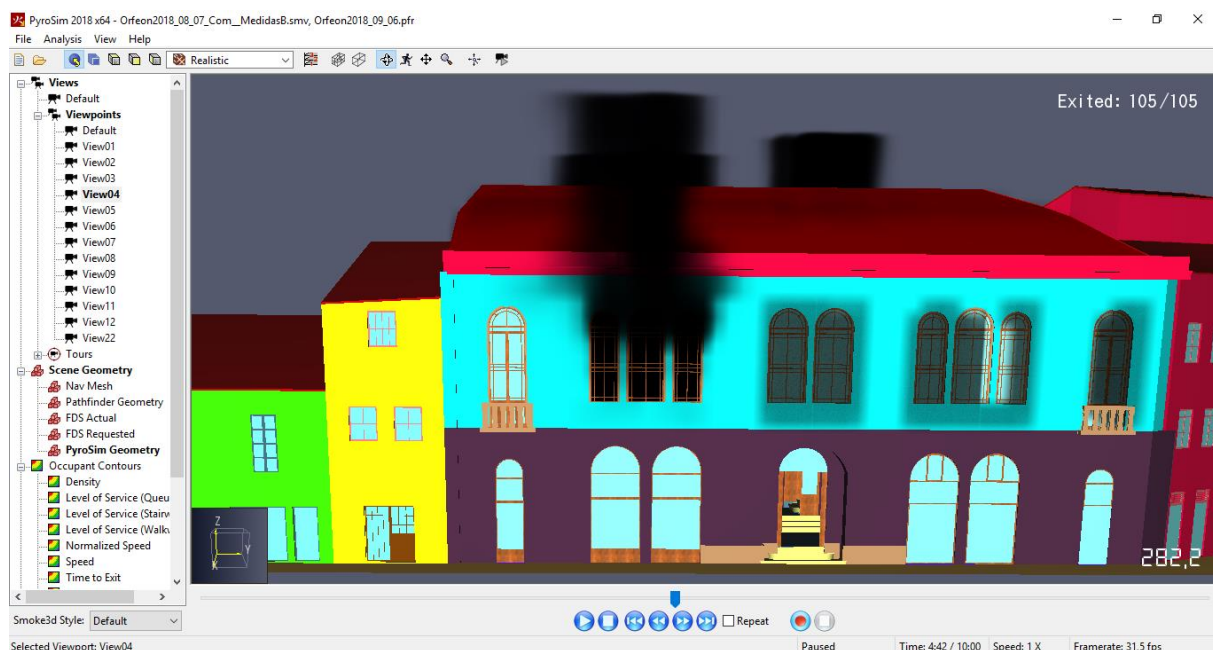


Figura 109 – Quebra de vidros no modelo B

A leitura dos valores de temperatura do sensor colocado no hall das escadas do primeiro piso permite constatar a influência das medidas implementadas no modelo B, verificando-se uma redução significativa dos valores comparativamente ao modelo A, além disso os restantes sensores registam valores que não ultrapassam os 20 °C contribuindo, desta forma, para a melhoria das condições de segurança de evacuação dos ocupantes (ver fig. 110).

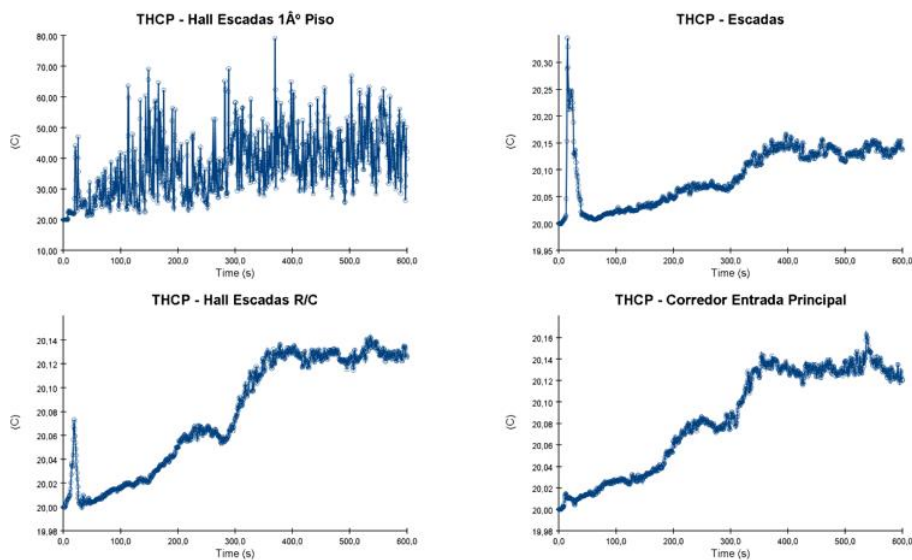


Figura 110 - Leitura de temperaturas na caixa de escadas e corredor da entrada principal – Modelo B

6.4.4. Análise e comparação dos resultados entre os diversos modelos – Modelo C

No modelo C, conforme já descrito anteriormente, foi implementado um sistema automático de extinção por água com recurso a sprinkler's. O primeiro sprinkler's entra em funcionamento

aos 9,80 segundos entrando os outros sprinkler's em funcionamento à medida que são atingidas as respectivas temperaturas de ativação (ver fig. 111 e 112).

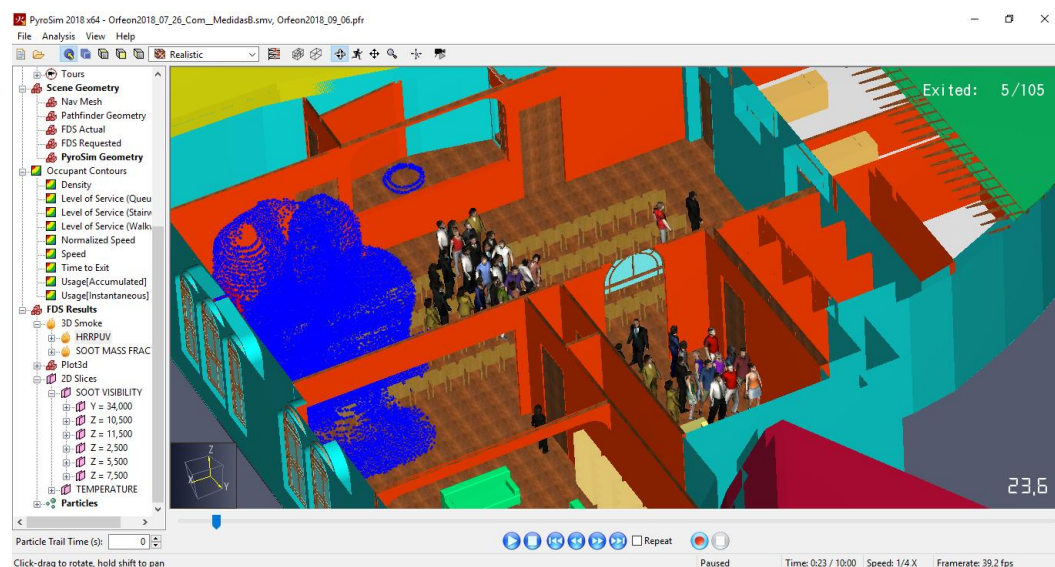


Figura 111 – Funcionamento dos sprinkler's



Figura 112 – Perspetiva do funcionamento dos sprinkler's no interior do edifício

Nas figuras 113 e 114 verifica-se uma melhoria da visibilidade no interior do salão de eventos junto às saídas para ambos os caminhos de evacuação sendo notória a melhoria no corredor do anexo traseiro.

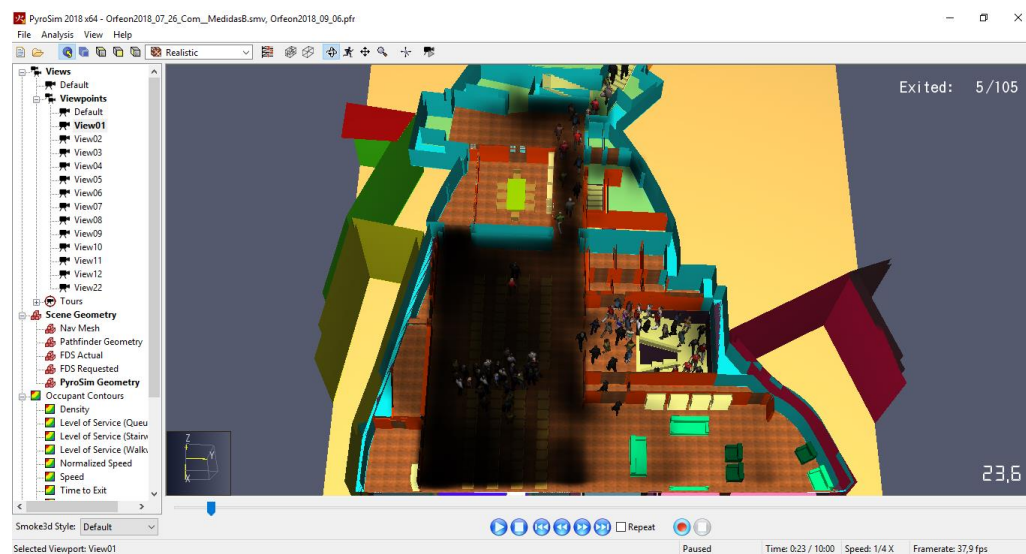


Figura 113 – Modelo C aos 23,60 segundos

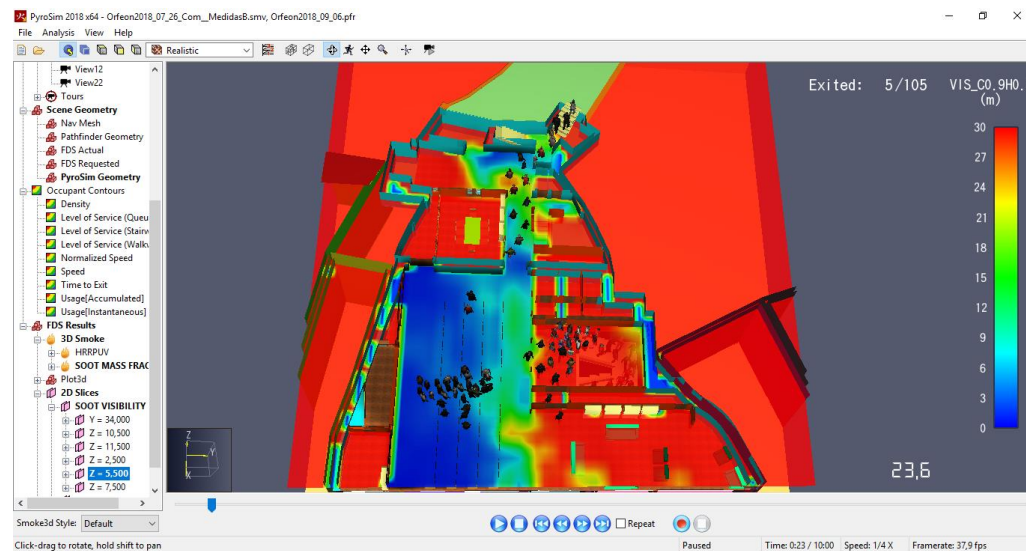


Figura 114 – Plano de visibilidade à cota 5,50 metros aos 23,60 segundos

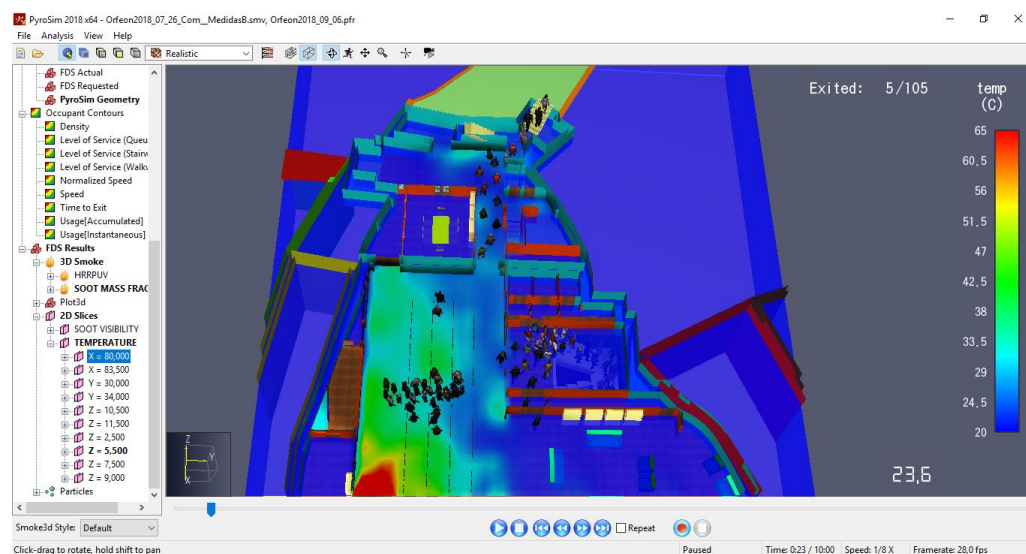


Figura 115 – Plano de temperaturas à cota 5,50 metros aos 23,60 segundos

Nas figuras 116 a 119 é possível visualizar a melhoria de visibilidade dos ocupantes nos dois caminhos de evacuação relativamente aos modelos anteriores, evidenciando a influência das medidas de combate ao incêndio implementadas na melhoria das condições de segurança de evacuação dos ocupantes.

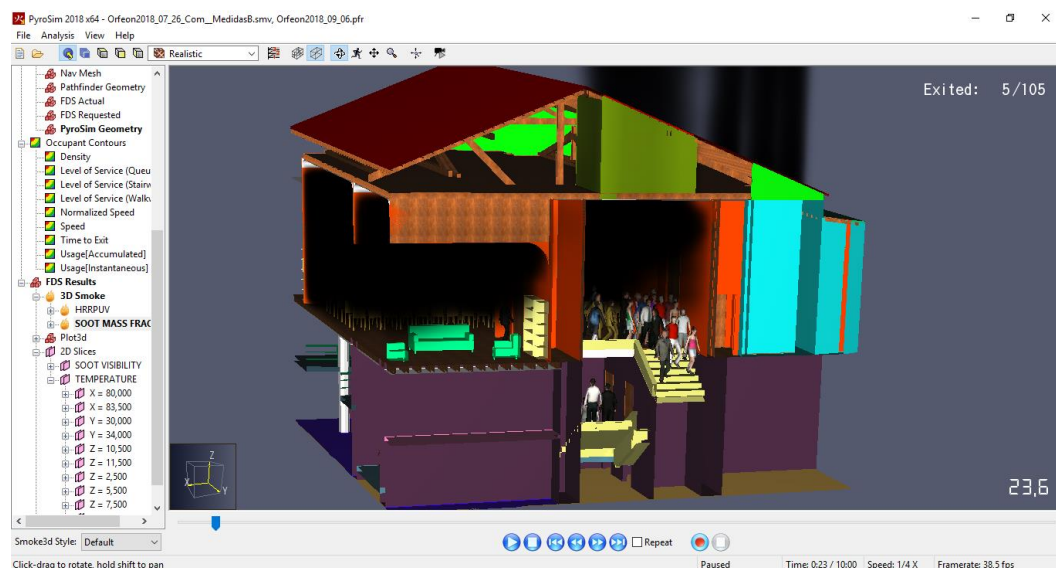


Figura 116 – Caixa de escada aos 23,60 segundos

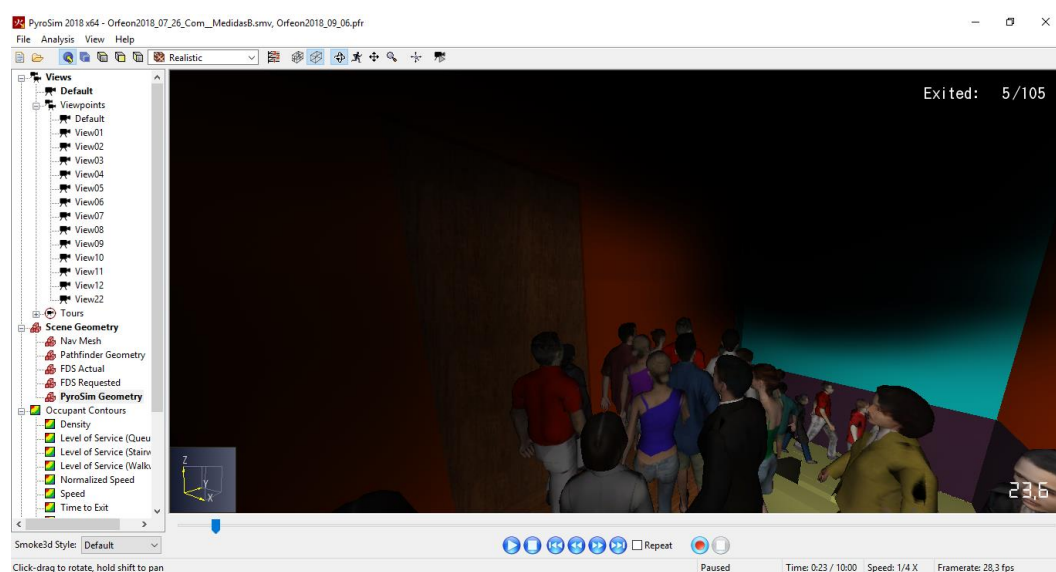


Figura 117 – Perspetiva do interior da caixa de escadas ao nível do piso 1

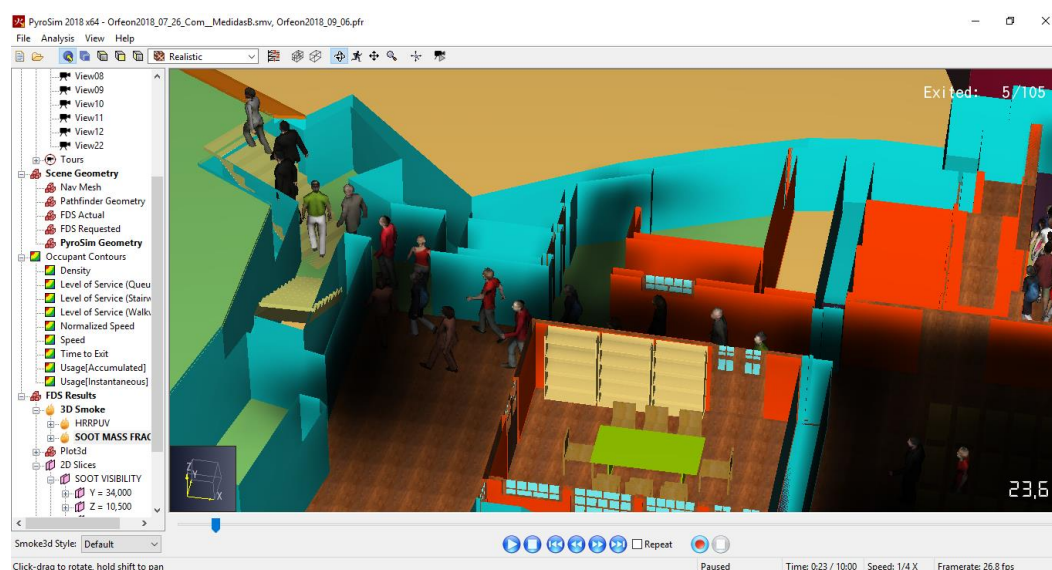


Figura 118 – Corredor e escadas de acesso ao terraço junto à rua Senhora da Boa Morte

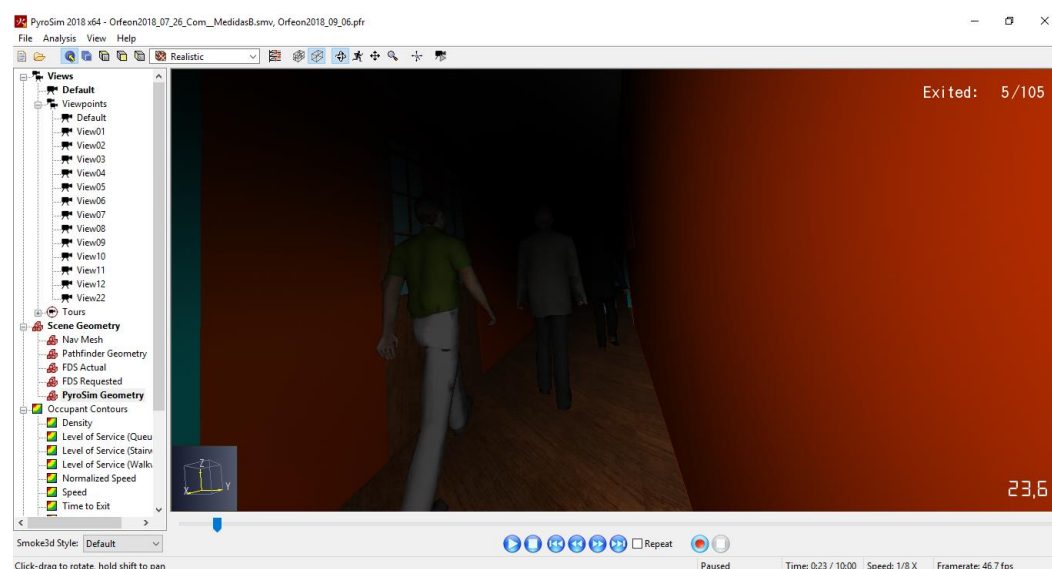


Figura 119 – Perspetiva do corredor junto à saída do salão de eventos para o anexo traseiro

Apesar das melhorias nas condições de evacuação, existe um grupo de 22 ocupantes que permanece no salão de eventos 38,50 segundos após o início do incêndio, envolto em fumo, exposto ao risco de intoxicação (ver fig. 120 e 121). Conforme já proposto na secção 6.4.2, continua a ser necessária a redução do número de ocupantes no salão de eventos e criar uma disposição de cadeiras com mais corredores permitindo uma maior fluidez na evacuação.



Figura 120 - Grupo de ocupantes exposto ao risco de intoxicação

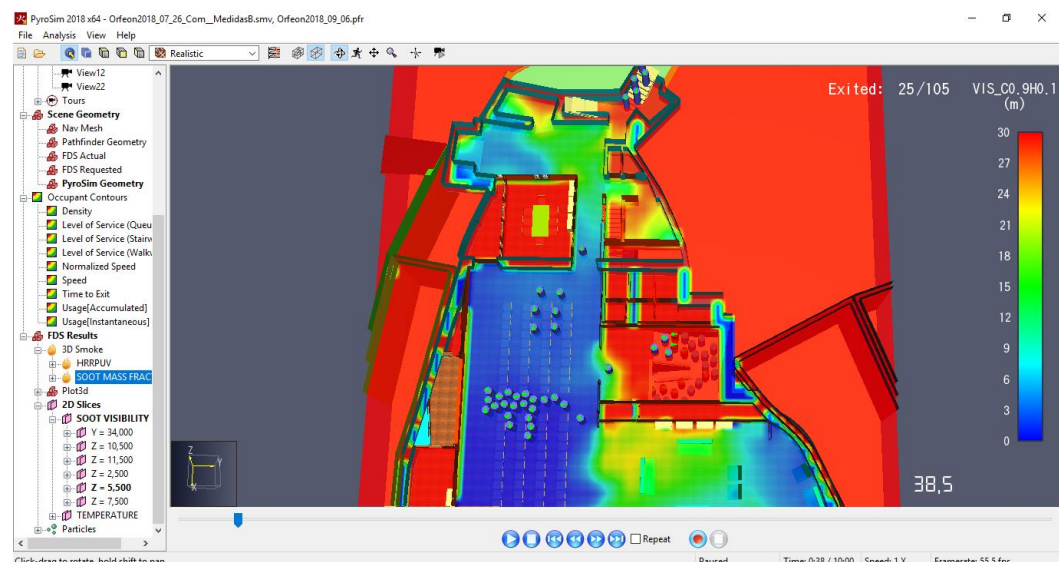


Figura 121 – Plano de visibilidade aos 38,50 segundos

Nesse sentido, foi elaborado um novo modelo de evacuação no Pathfinder (modelo 2), com o número de ocupantes no salão de eventos reduzido para 50 e nas outras divisões manteve-se o mesmo cenário da primeira simulação.

Após a análise dos resultados da nova simulação, verifica-se que os últimos ocupantes deslocam-se para as saídas de emergência antes de ficarem envolvidos pelo fumo. Nas figuras 122 e 123 verifica-se que, para o mesmo instante t igual a 38,50 segundos, apenas estão presentes no salão seis ocupantes que estão fora da zona envolta pelo fumo e próximos das saídas da divisão. Na sequência, verifica-se aos 44,80 segundos a inexistência de ocupantes no salão de eventos, com os últimos ocupantes a percorrer o corredor do anexo traseiro em direção à saída (ver fig. 124 e 125).

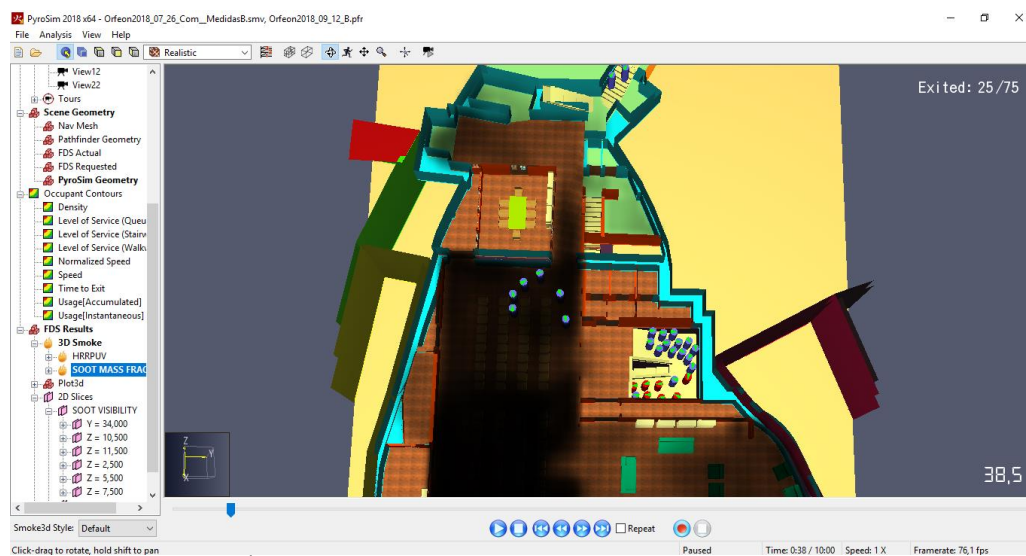


Figura 122 – Últimos ocupantes no salão de eventos aos 38,50 segundos

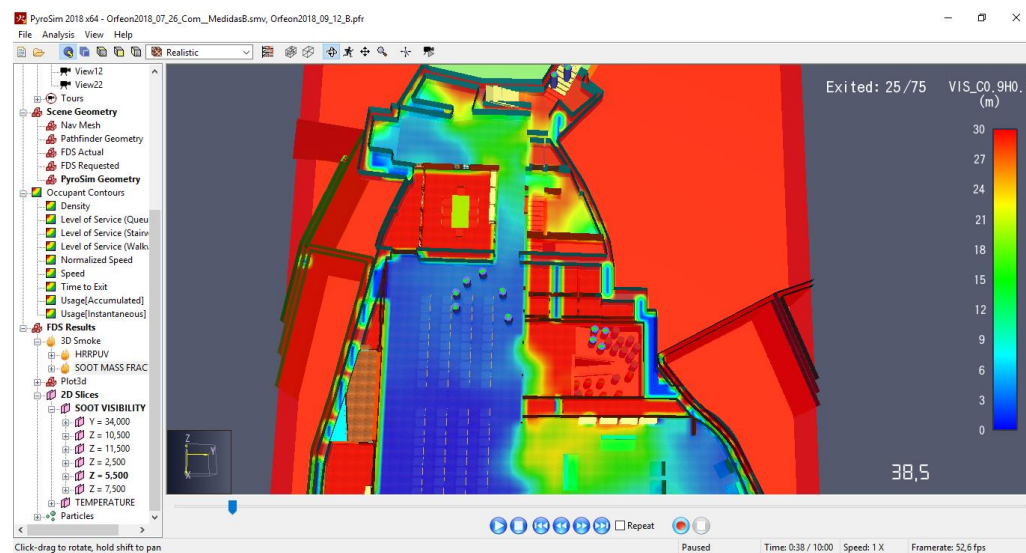


Figura 123 - Plano de visibilidade aos 38,50 segundos

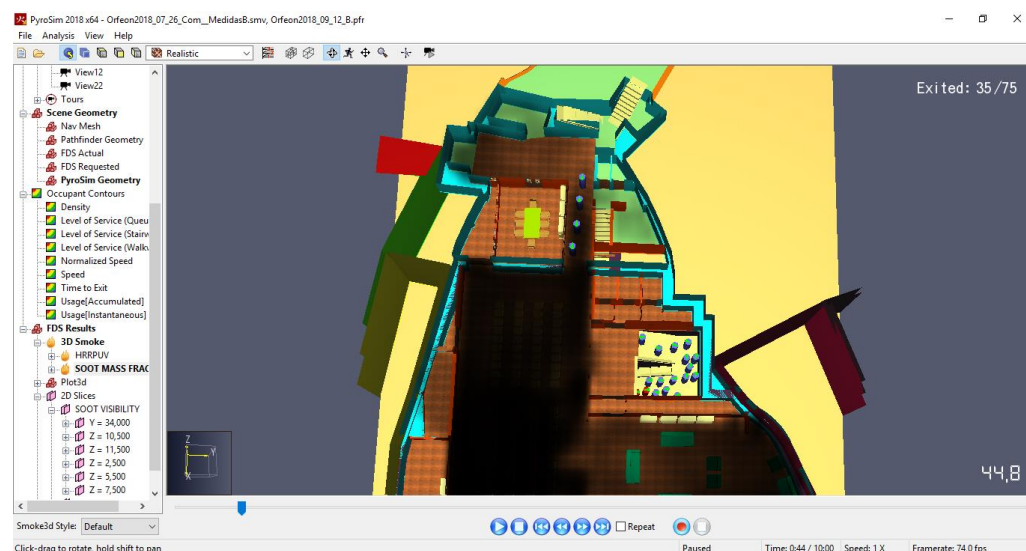


Figura 124 – Saída dos últimos ocupantes aos 44,80 segundos

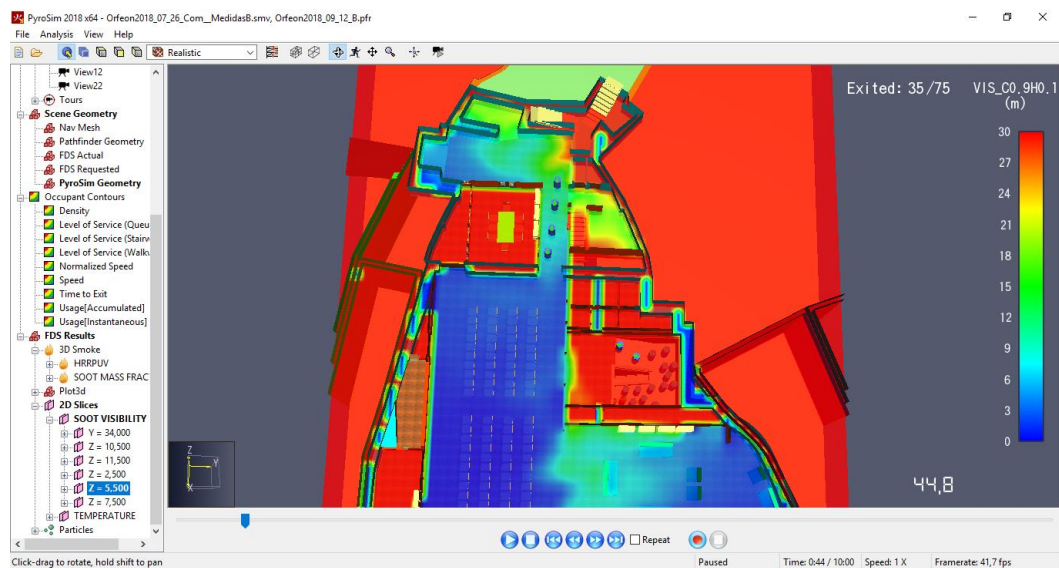


Figura 125 – Plano de visibilidade aos 44,80 segundos

A visualização e análise simultânea dos resultados do modelo FDS (Pyrosim) em conjunto com o modelo de evacuação (Pathfinder) no modelo C permite concluir que as medidas de combate ao incêndio implementadas e a redução do número de ocupantes presentes no edifício resultam na melhoria das condições de segurança dos mesmos, aumentando as possibilidades de evacuação com exposição menor ao fumo em comparação com o modelo B.

A análise dos gráficos de temperaturas medidos pelos sensores permite concluir que existe uma redução da temperatura relativamente ao modelo B, constatando a influência do sistema automático de extinção por água.

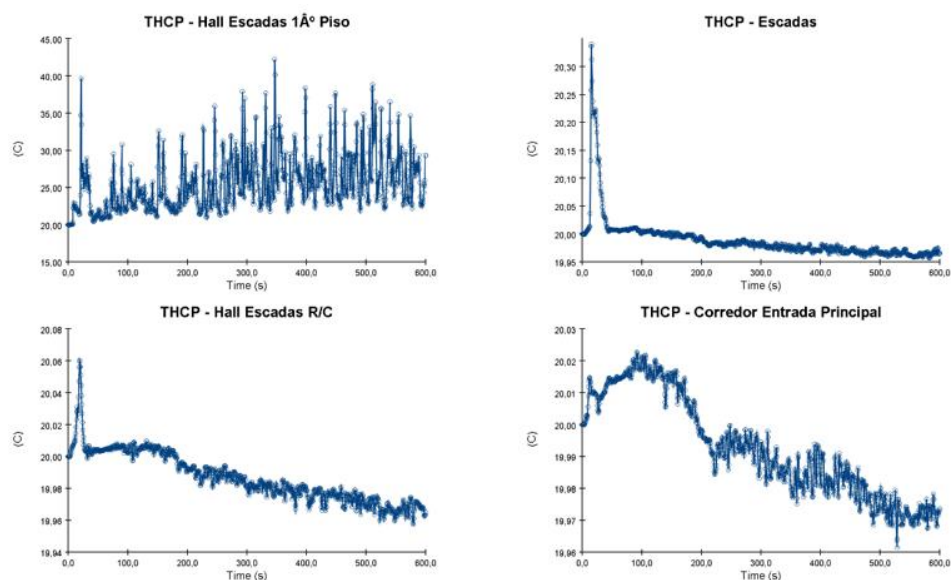


Figura 126 - Leitura de temperaturas na caixa de escadas e corredor da entrada principal – Modelo C

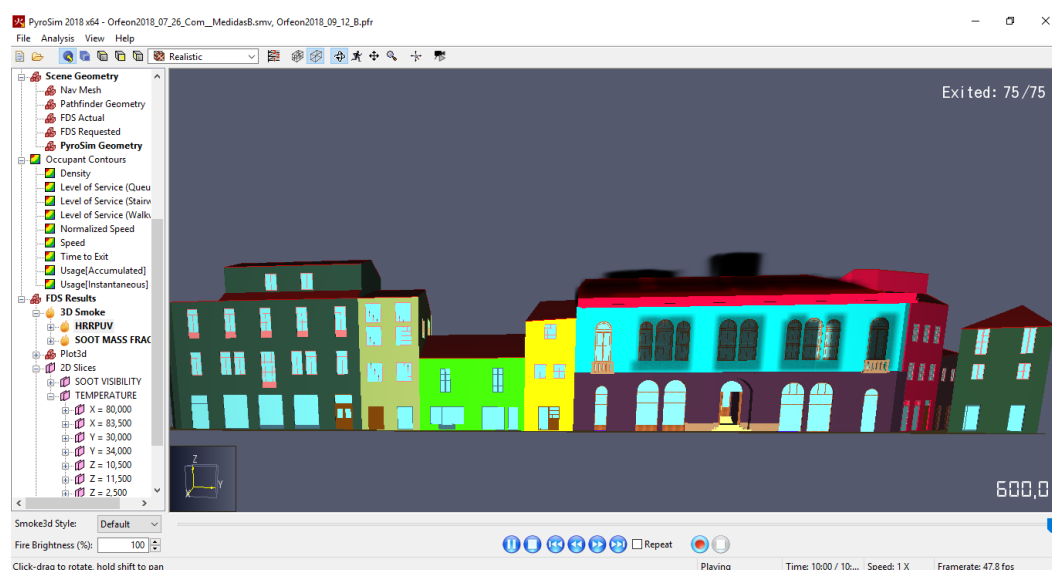


Figura 127 – Inexistência de quebra de vidros no modelo C

A figura 127 permite visualizar a inexistência de quebra de vidros até ao fim do período de 600 segundos, permitindo concluir que, relativamente ao risco de propagação do incêndio para os edifícios vizinhos, a implementação do sistema automático de extinção por água tem resultados positivos na contenção do incêndio no interior do edifício.

6.4.5. Análise e comparação dos resultados entre os diversos modelos – Modelo D

No modelo D, foi implementado um sistema automático de extinção por gás com recurso a sprinkler's. Neste modelo o sistema de extinção foi programado para atuar 60 segundos após o início do incêndio de modo a evitar a presença humana no local de aplicação (ver fig. 128).

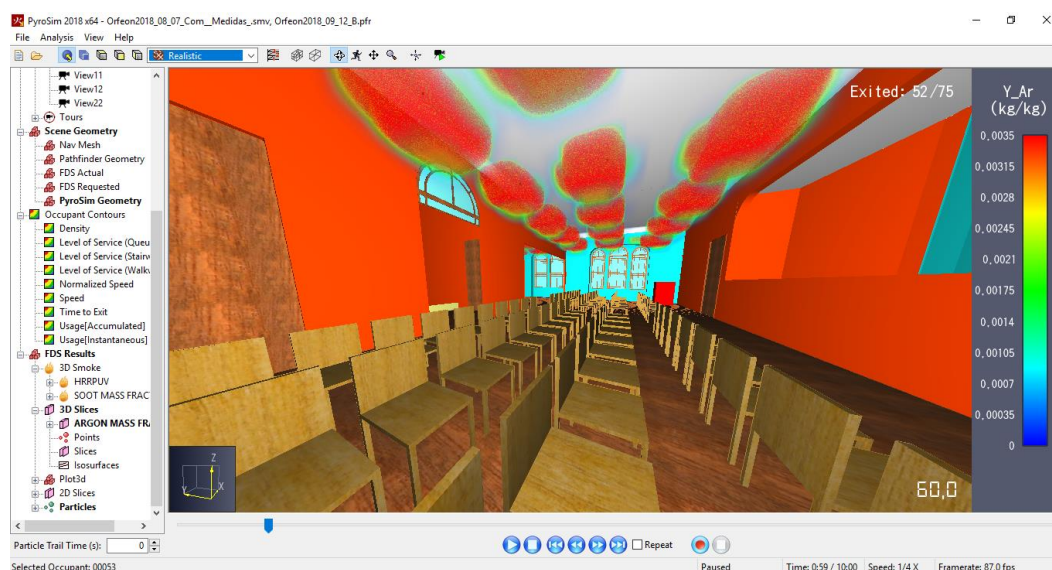


Figura 128 – Ativação do sistema automático de extinção por gás aos 60 segundos

Foi selecionado o modelo de evacuação com o número reduzido de pessoas no salão de eventos, uma vez que até aos 60 segundos o cenário é idêntico ao modelo B.

Neste modelo, continua a existir o problema de redução de visibilidade na zona do corredor do anexo traseiro, afetando, aos 12 segundos, dez ocupantes conforme as figuras 129 e 130 ilustram.

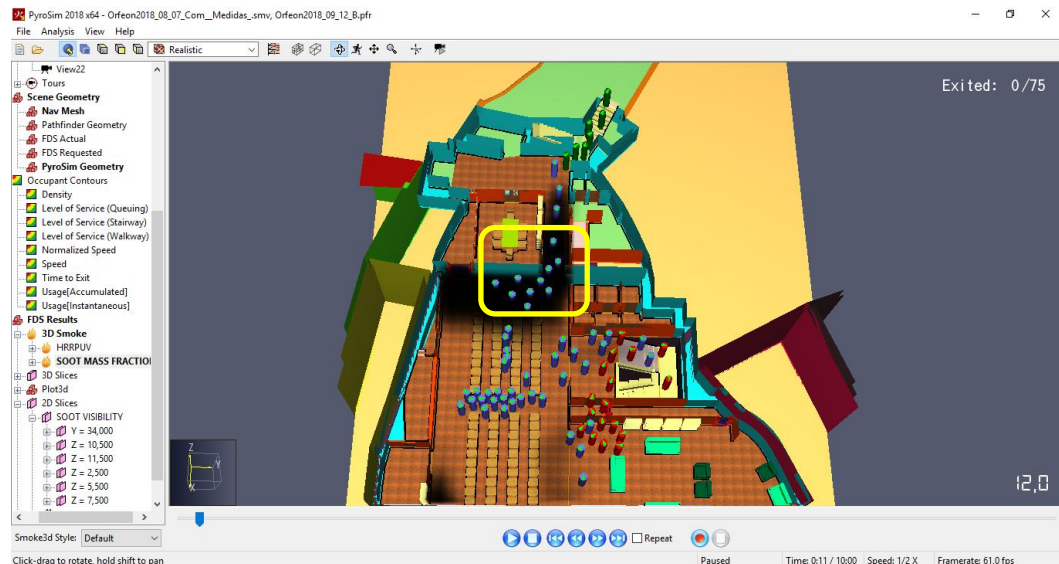


Figura 129 – Ocupantes rodeados pelo fumo durante a evacuação

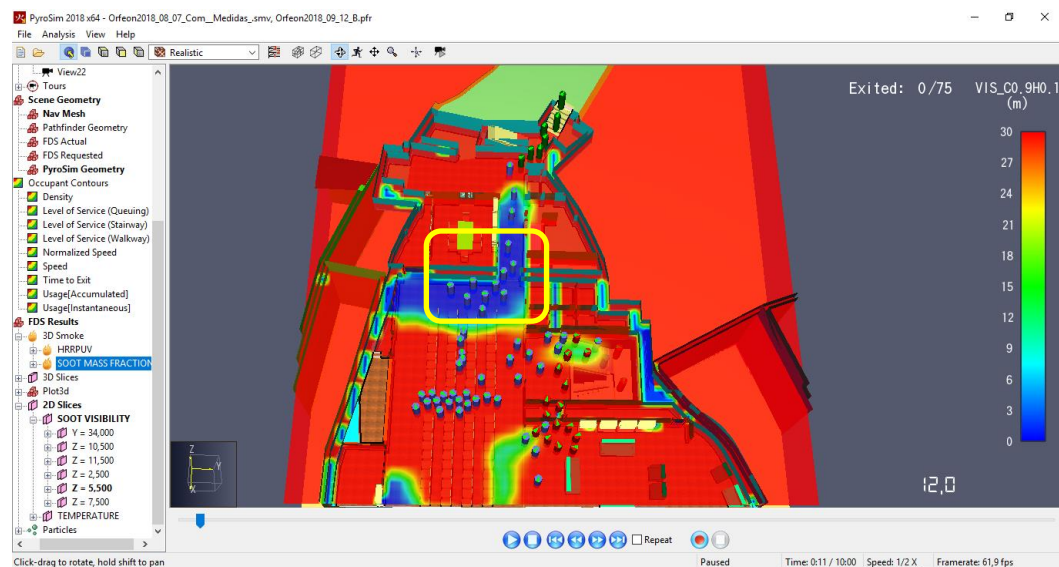


Figura 130 – Plano de visibilidade à cota 5,50 metros aos 12 segundos

Verifica-se que as temperaturas atingidas, antes da atuação dos exaustores, atingem valores máximos de 105 °C na zona de saída do salão e corredor (ver fig. 131).

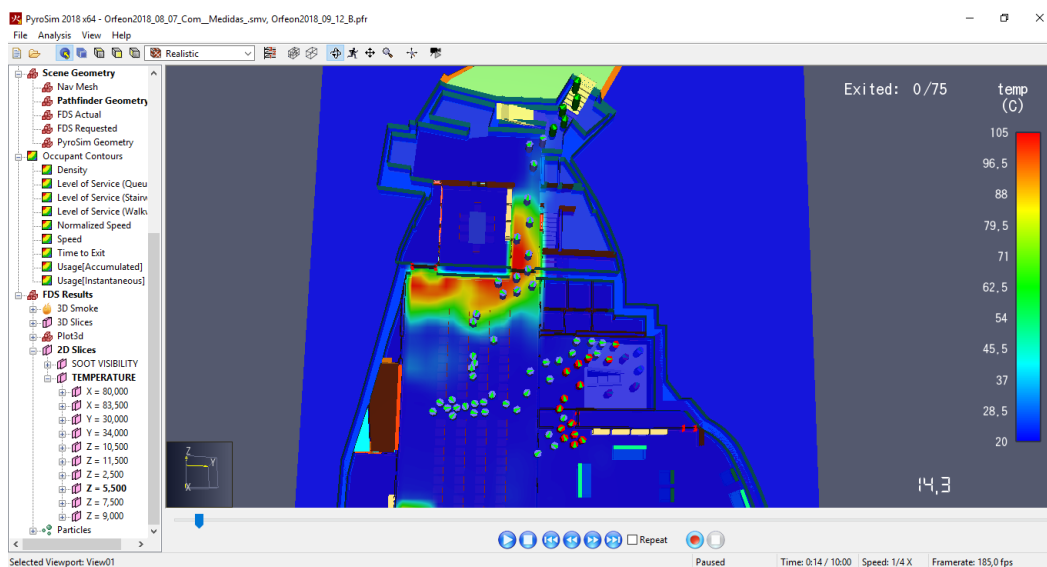


Figura 131 – Plano de temperaturas à cota 5,50 metros aos 14,30 segundos

A atuação dos exaustores em conjunto com a abertura automática da claraboia permitiu uma melhoria da visibilidade na zona do salão e no corredor do anexo traseiro (fig. 132 e 133), para além de uma diminuição da temperatura (fig.134). No entanto, verifica-se a presença de seis ocupantes na zona central do salão de eventos rodeados pelo fumo até aos 33,20 segundos (fig.135), concluindo que apesar da redução de ocupantes, continua a existir um risco elevado de ocupantes sofrerem asfixia pelo fumo.

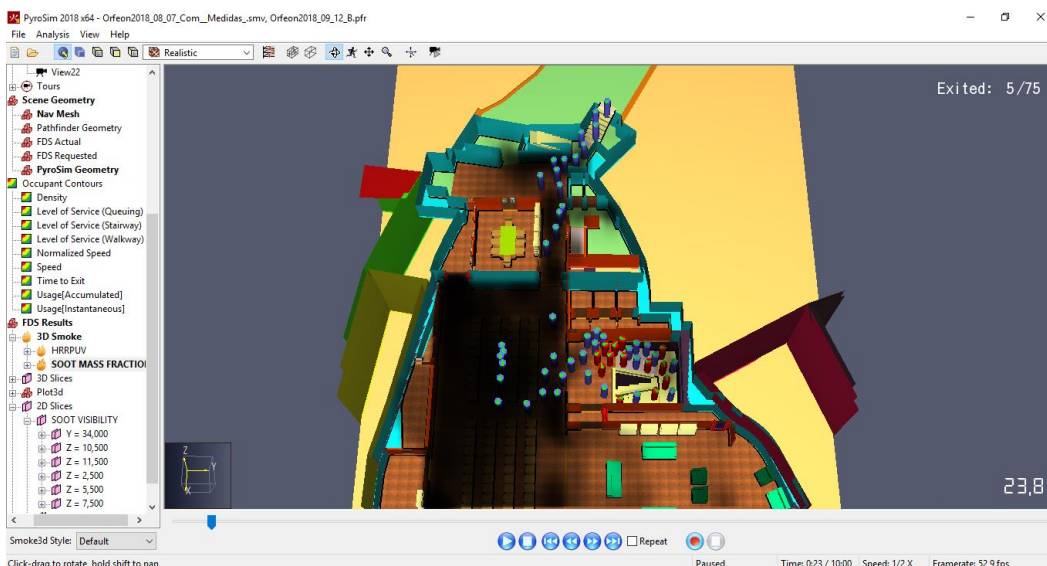


Figura 132 – Desenvolvimento do fumo aos 23,80 segundos

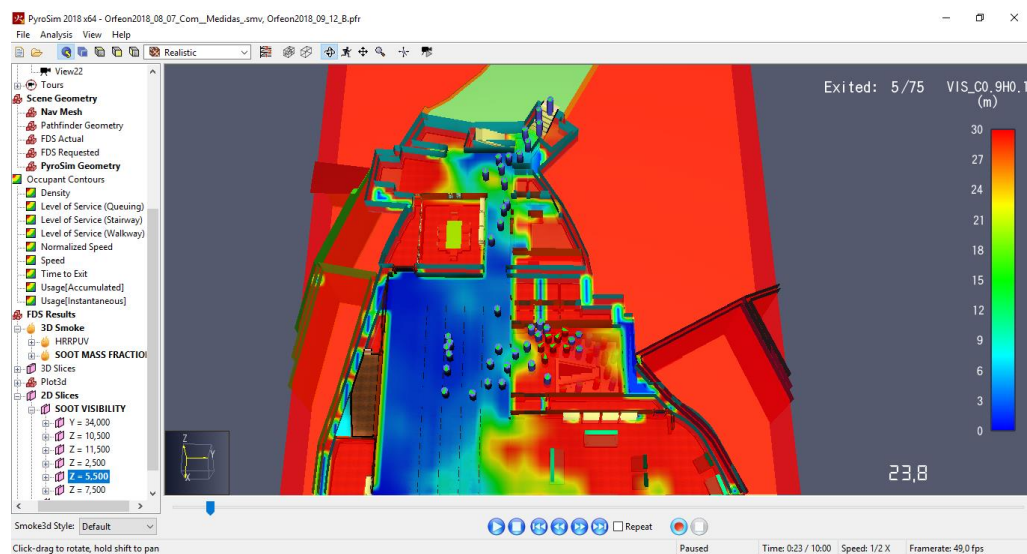


Figura 133 - Plano de visibilidade à cota 5,50 metros aos 23,80 segundos

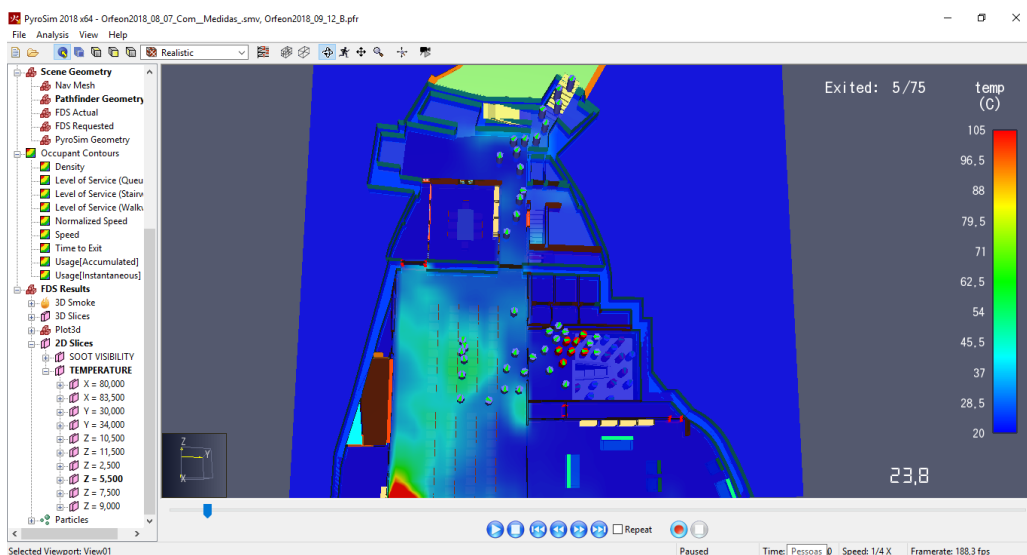


Figura 134 – Plano de temperaturas à cota 5,50 metros aos 23,80 segundos

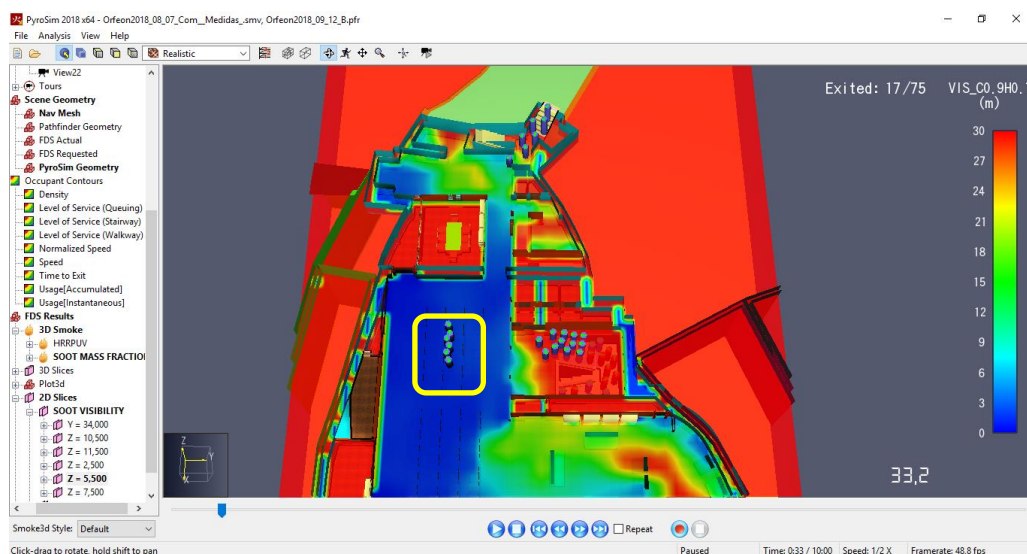


Figura 135 – Plano de visibilidade à cota 5,50 metros aos 33,20 segundos

No modelo D ocorre quebra dos vidros aos 141,6 segundos, 278,5 segundos e 285,8 segundos (fig. 136). Verifica-se que o sistema automático de extinção a gás não é suficiente para a contenção do incêndio no interior do edifício.

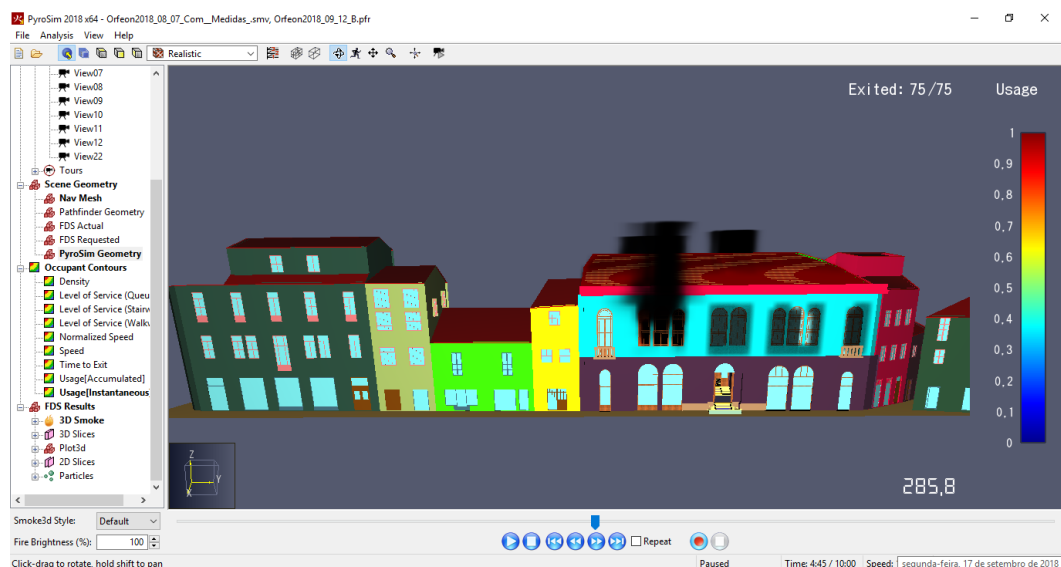


Figura 136 – Quebra de vidros no modelo D

6.4.6. Conclusão da análise dos resultados entre os diversos modelos

A análise dos resultados dos quatro modelos expostos no âmbito deste trabalho permite concluir que no modelo C, a conjugação do sistema de exaustão de fumos, sistema automático de extinção de incêndios a água, abertura da claraboia na cobertura da zona da caixa de escadas juntamente com a redução de oitenta para cinquenta ocupantes no salão de eventos tem resultados efetivos na evacuação em condições de segurança da totalidade dos ocupantes presentes no edifício. De realçar que a análise do modelo de evacuação permite concluir que a existência de duas saídas de emergência em lados opostos no edifício permite uma evacuação dos ocupantes em tempo útil e incrementa o nível de segurança dos mesmos.

6.4.7. Análise dos modelos de evacuação Pathfinder

6.4.7.1. Modelo de evacuação 1

Conforme descrito na alínea 6.3, o primeiro modelo de evacuação tem um total de 105 ocupantes distribuídos pelos dois salões e sala de reuniões no primeiro piso (fig. 137).

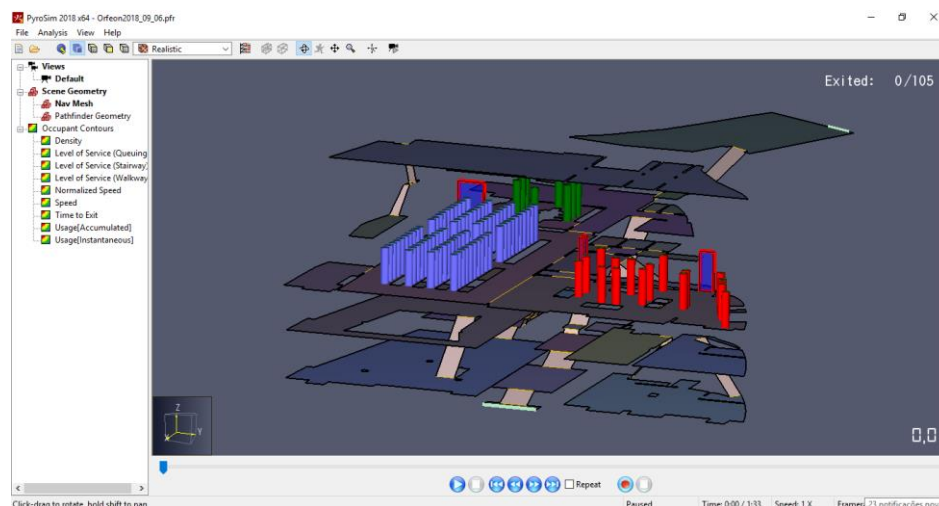


Figura 137 – Primeiro modelo de evacuação

Conforme se pode constatar pelo gráfico da figura 138, o tempo de evacuação da totalidade dos ocupantes no primeiro modelo é de 93,28 segundos.

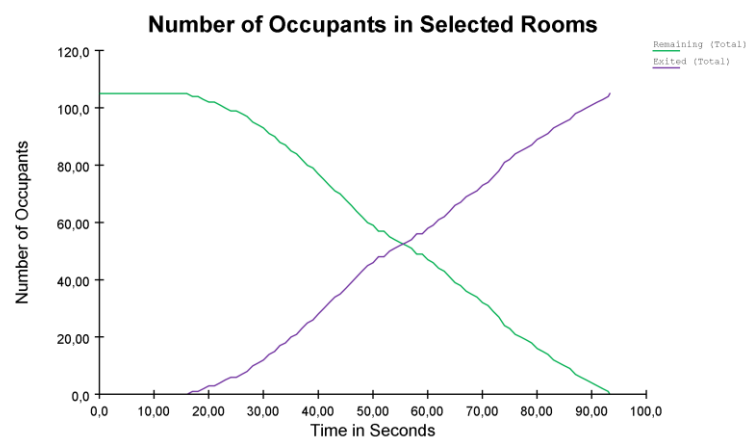


Figura 138 – Presença de ocupantes no edifício

No gráfico da figura 139 é possível analisar o tempo total de evacuação por cada divisão em que os ocupantes marcam presença no início do incêndio. No salão de eventos o tempo de evacuação dos 80 ocupantes é de 61 segundos. No salão de leitura verifica-se que existem dois intervalos de tempo onde existe presença de ocupantes, devido a alguns ocupantes do salão de eventos que durante a evacuação optam por sair pelas portas do salão de leitura no caminho para a caixa de escadas que ocorre entre os 40 e os 60 segundos. Na análise do primeiro intervalo de tempo, verifica-se que o tempo de evacuação dos 17 ocupantes é de 24 segundos. Na sala de reuniões o tempo de evacuação é de 7 segundos.

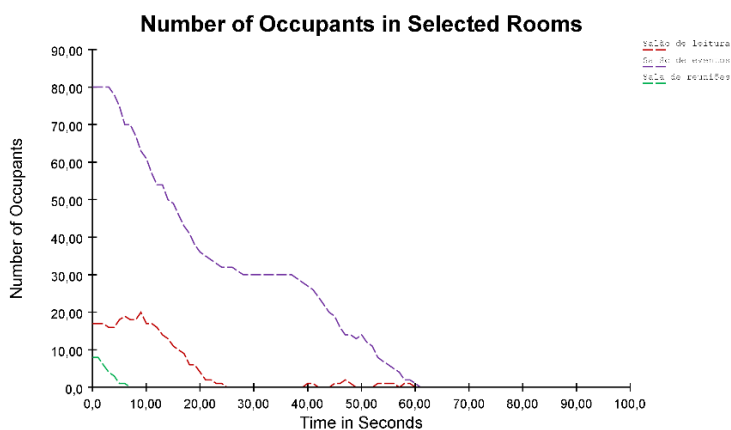


Figura 139 – Presença de ocupantes nas divisões

A análise do gráfico da figura 140 permite concluir que a escada principal do edifício teve um pico de pico de 11 ocupantes em cada lanço de escadas, mas em diferentes intervalos de tempo. A escada entre os pisos do anexo e o terraço teve um pico de seis ocupantes aos 36 segundos.

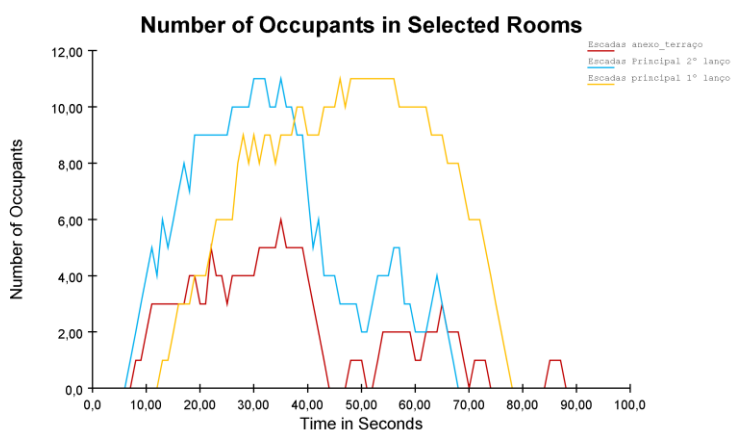


Figura 140 – Presença de ocupantes nas escadas

O gráfico da figura 141 ilustra as taxas de fluxos (número de ocupantes por segundo), dos vãos de saída para a rua Direita e para a rua Sr.^a da Boa Morte, tendo atingido os valores máximos de 1,21 pessoas/segundo para $t = 89,80$ segundos e 0,93 pessoas /segundo para $t = 44,16$ segundos respetivamente.

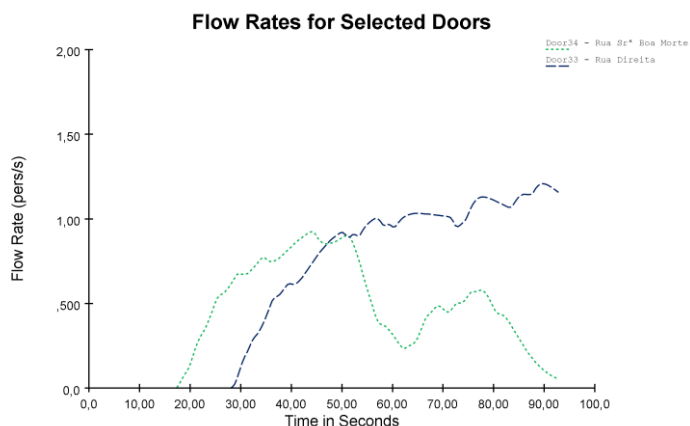


Figura 141 – Taxa de fluxo das saídas para o exterior

No gráfico da figura 142 estão as taxas de fluxo dos vãos interiores do edifício utilizados pelos ocupantes nos caminhos de evacuação.

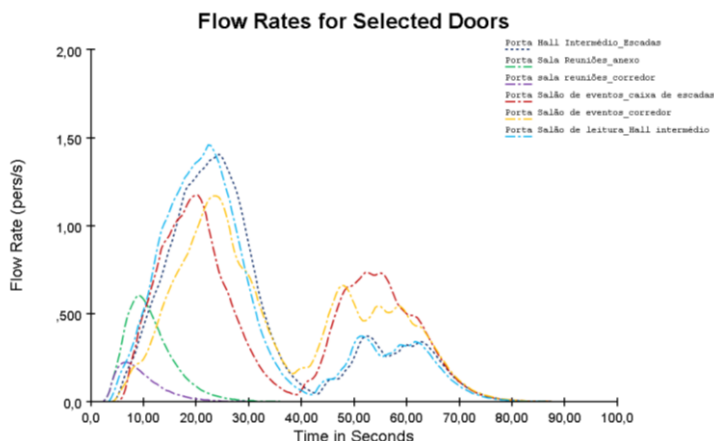


Figura 142 – Taxa de fluxo dos vãos interiores

6.4.7.2. Modelo de evacuação 2

A análise dos resultados do modelo de incêndio C na alínea 6.4.4. demonstrou que, apesar das medidas de combate implementadas, continuam a haver evidências de presença de ocupantes no interior do salão que estarão em risco de asfixia pelo fumo. Face ao exposto, optou-se por um novo modelo de evacuação com a redução do número de ocupantes para 50 e nas restantes divisões manteve-se a mesma situação do primeiro modelo (fig. 143).

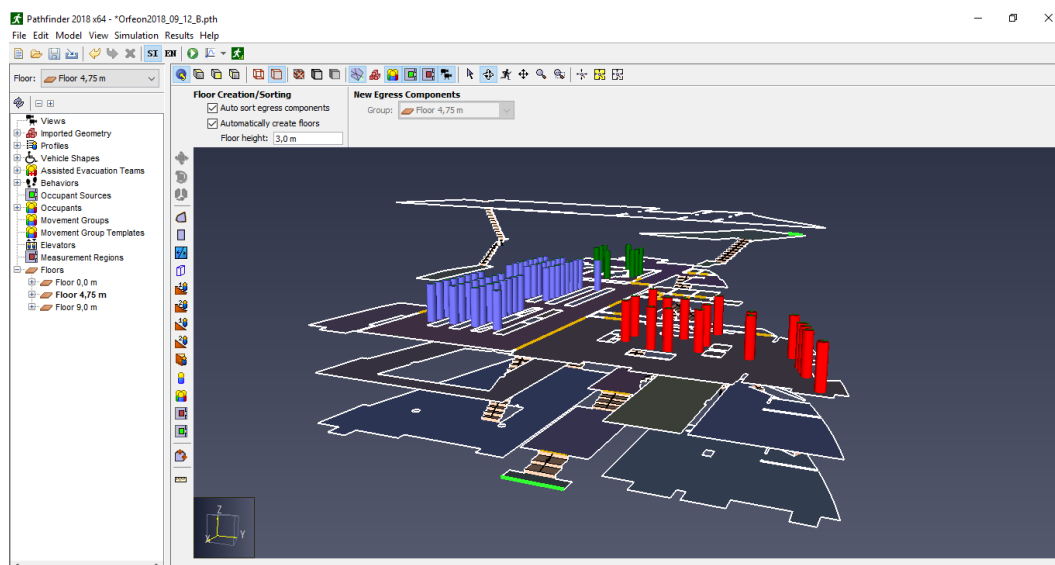


Figura 143 – Segundo modelo de evacuação

O gráfico da figura 144 indica que o tempo de evacuação da totalidade dos ocupantes no segundo modelo é de 77,28 segundos.

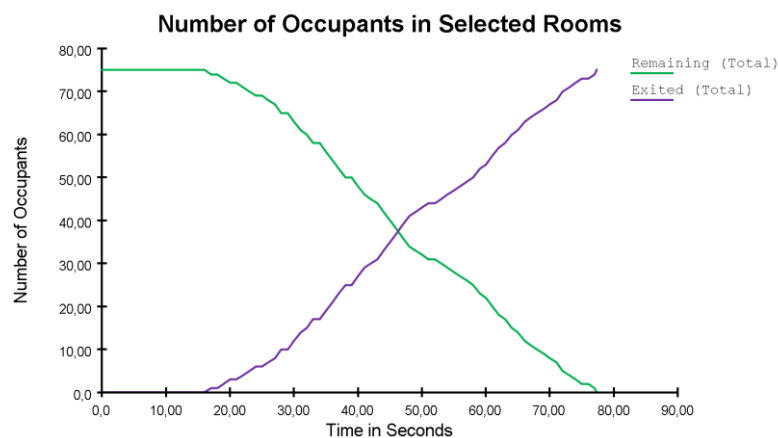


Figura 144 - Presença de ocupantes no edifício

Na figura 145, o último ocupante a sair do salão de eventos demora 44 segundos, comparando com o modelo de evacuação 1, o tempo de presença de ocupantes nesta divisão reduziu em 17 segundos. Relativamente às outras divisões, verifica-se uma redução de 2 segundos no tempo de evacuação dos 17 ocupantes do salão de leitura para 22 segundos, enquanto na sala de reuniões manteve-se o mesmo tempo do primeiro modelo.

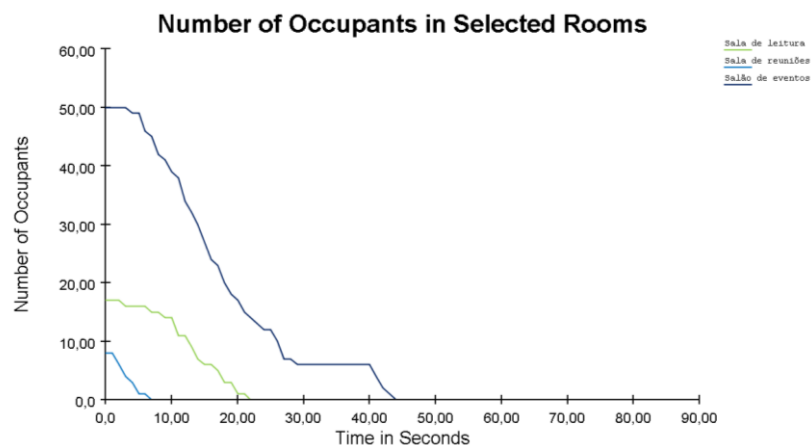


Figura 145 - Presença de ocupantes nas divisões

A análise do gráfico da figura 146 permite concluir que a escada principal do edifício teve um pico de 12 ocupantes no segundo lanço de escadas e de 10 ocupantes no primeiro lanço de escadas, mas em diferentes intervalos de tempo. A escada entre os pisos do anexo e o terraço teve um pico de 5 ocupantes aos 36 segundos.

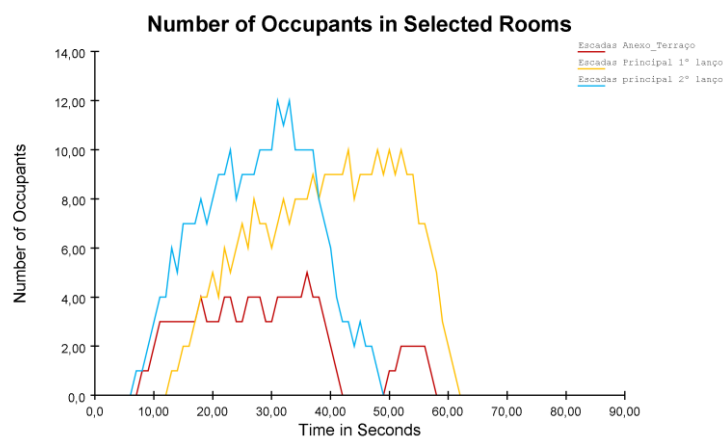


Figura 146 – Presença de ocupantes nas escadas

O gráfico da figura 147 ilustra as taxas de fluxos (número de ocupantes por segundo) dos vãos de saída para a rua Direita e para a rua Sr.^a da Boa Morte, tendo atingido os valores máximos de 1,17 pessoas/segundo para $t = 75,29$ segundos e 0,84 pessoas/segundo para $t = 49,04$ segundos, respetivamente.

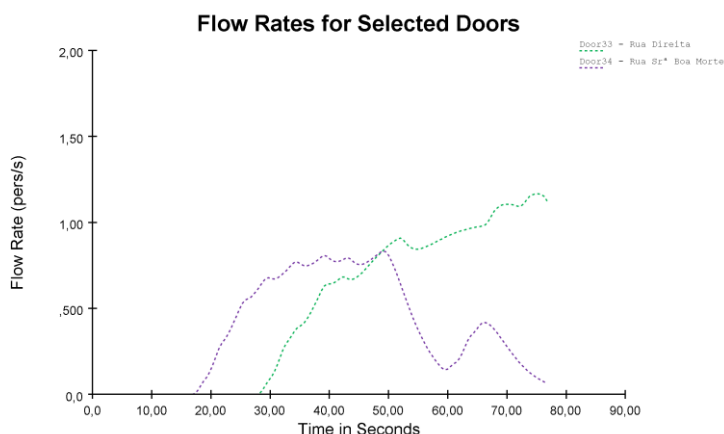


Figura 147 – Taxa de fluxo das saídas para o exterior

As taxas de fluxo dos vãos interiores do edifício utilizados pelos ocupantes nos caminhos de evacuação estão ilustradas no gráfico da figura 148.

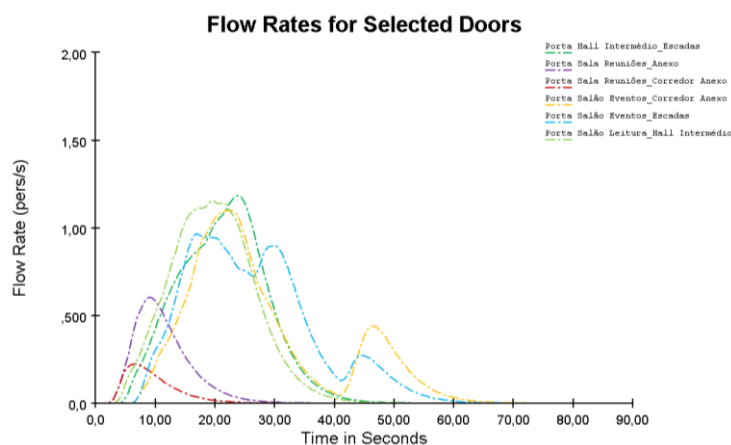


Figura 148 – Taxa de fluxo dos vãos interiores

6.4.8. Simulação de incêndio em loja do piso térreo – Modelo E

6.4.8.1. Modelo de incêndio em loja do piso térreo – Modelo E

A análise dos modelos de incêndios apresentados anteriormente permitiu verificar que não existe ocorrência de propagação de incêndio para os edifícios vizinhos. No entanto, no piso térreo do edifício existem duas lojas, sendo uma delas de comércio de calçado e vestuário, que apresentam uma elevada carga de incêndio devido à existência de material de vestuário. Por esta razão, elaborou-se mais um modelo de incêndio para analisar o risco de propagação.

Na construção deste modelo foram introduzidos blocos representativos de material têxtil, neste caso foi selecionado o algodão, com o volume de $1,0 \text{ m}^3$ e dimensões de $1,0 \times 0,5 \times 2,0$ metros. No piso térreo na área destinada ao público colocaram-se 17 blocos, nas divisões traseiras destinada ao armazenamento de material, colocaram-se três blocos com as mesmas dimensões e um bloco com o volume de $2,30 \text{ m}^3$ e dimensões $1,60 \times 2,90 \times 0,50$ metros na divisão mais recuada, no piso superior da loja colocaram-se 14 blocos de dimensões iguais aos do piso térreo (ver fig. 149 e 150).

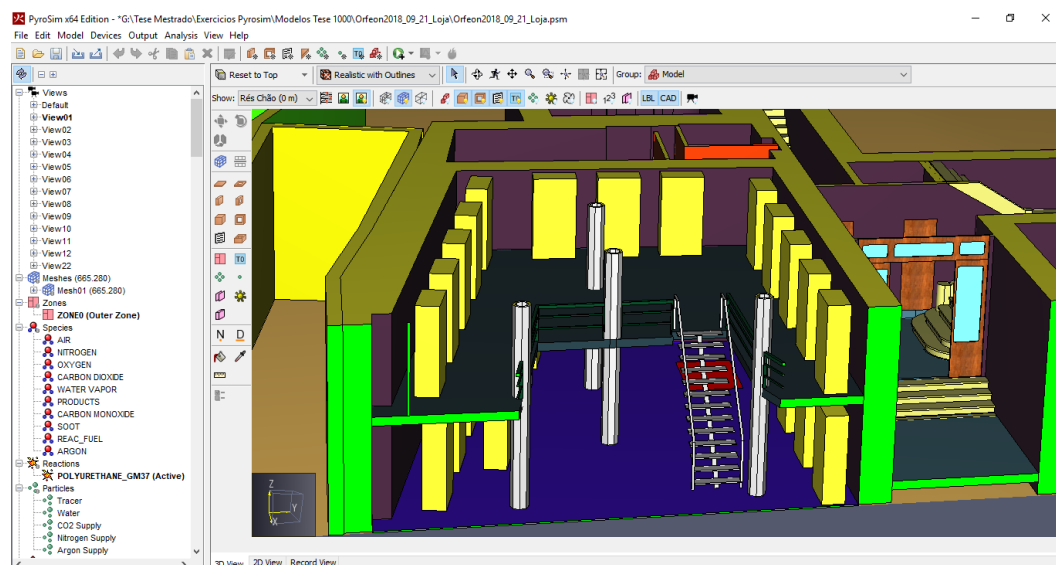


Figura 149 – Vista em corte

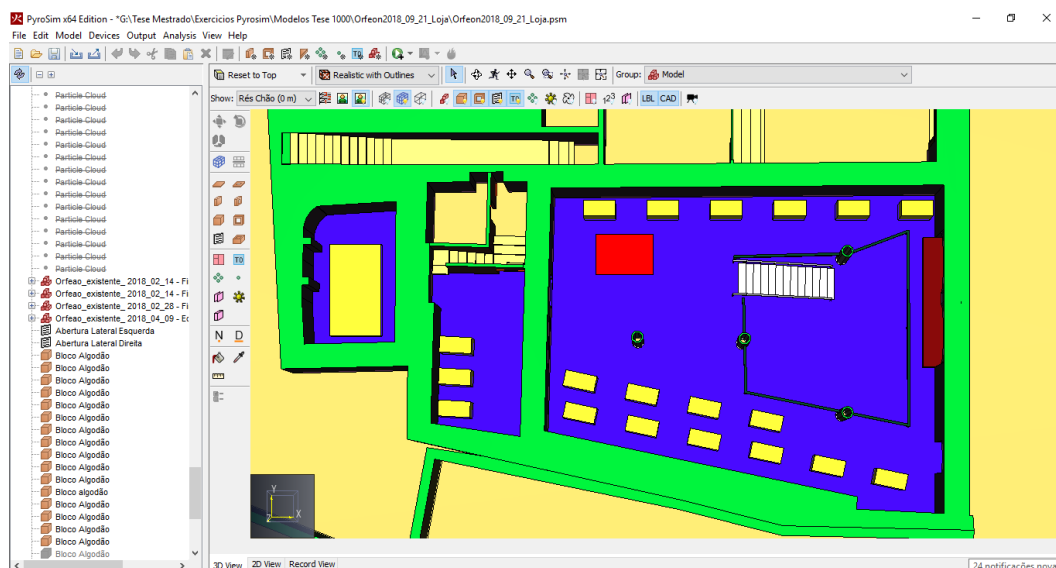


Figura 150 – Vista em planta

Para a correta modelação foi necessário editar um novo material com as características do algodão (figura 151).

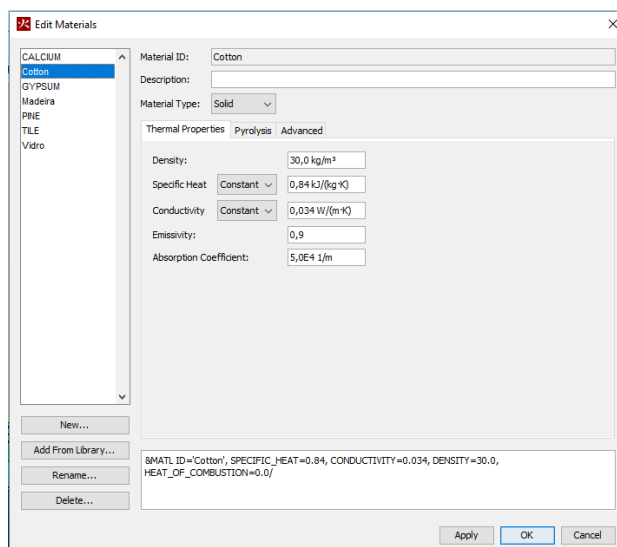


Figura 151 – Características do material do algodão

Relativamente às características da superfície do algodão, foram introduzidos os valores do HRRPUA, a temperatura de ignição e a espessura de combustão na edição da superfície conforme as figuras 152 e 153.

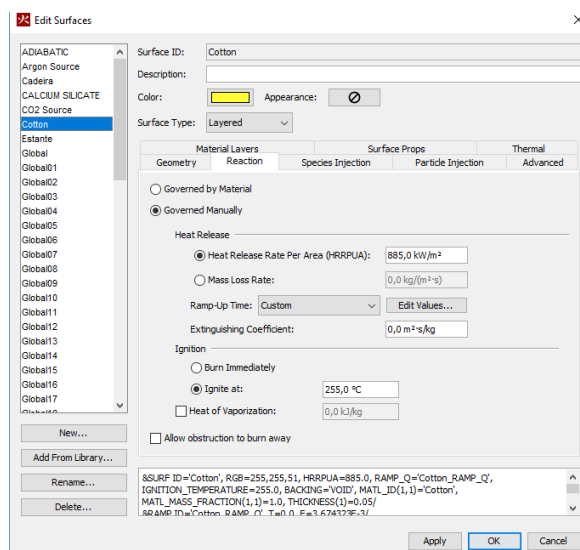


Figura 152 – Características da superfície do algodão

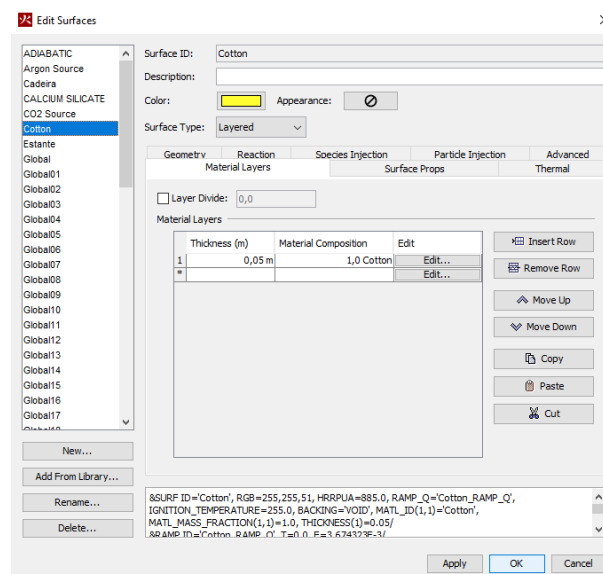


Figura 153 – Espessura de combustão do algodão

Para a obtenção dos valores característicos que definem o algodão recorreu-se ao trabalho de (Wetterlund *et al*, 1988).

6.4.8.2. Análise dos resultados do modelo de incêndio na loja do piso térreo

A localização do início do incêndio no piso térreo encontra-se na área destinada ao público junto ao material têxtil em exposição (fig. 154).

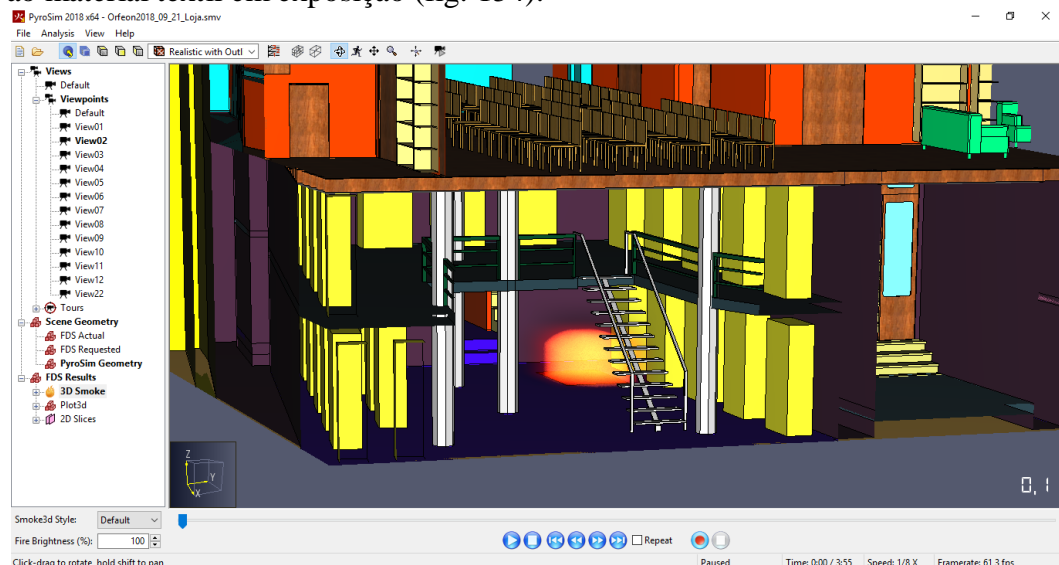


Figura 154 – Início do incêndio

A primeira quebra de um dos vidros da montra dá-se no instante $t = 22,9$ segundos (fig. 155), que vai permitir a entrada de ar do exterior proporcionando o fenómeno de “flash-over” (fig. 156).

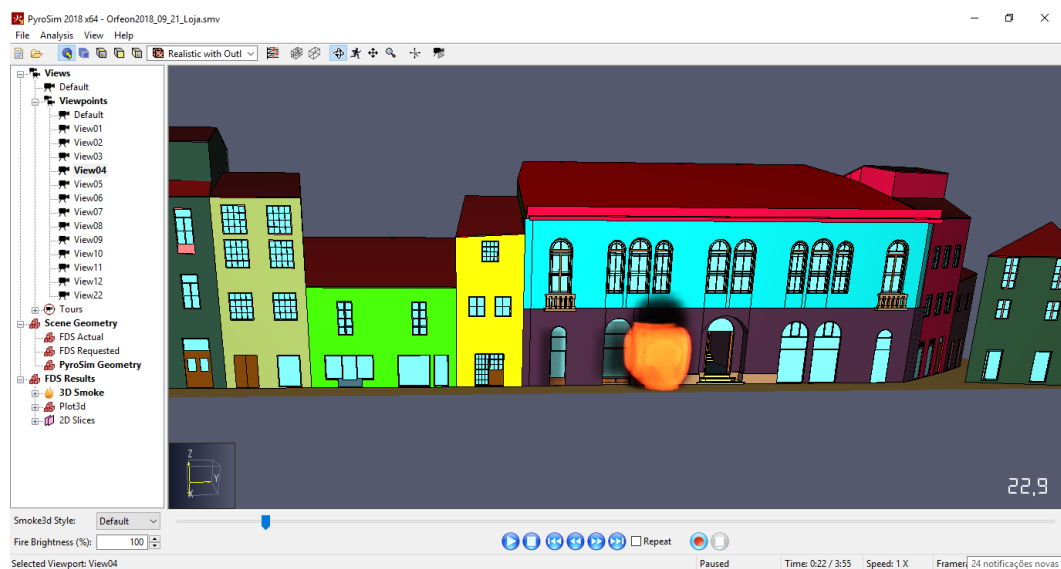


Figura 155 – Quebra do primeiro vidro da montra

Para possibilitar a visualização do fenómeno de “flash-over”, seleccionou-se, no visualizador Smokeview, o modo de vista Wireframe Render que permite, conforme se pode ver pela figura 156, visualizar a extensão das chamas no momento da propagação. De referir que para a captura desta imagem, foi desligado o modo “Soot Mass Fraction” no campo “3D Smoke” que representa o fumo.

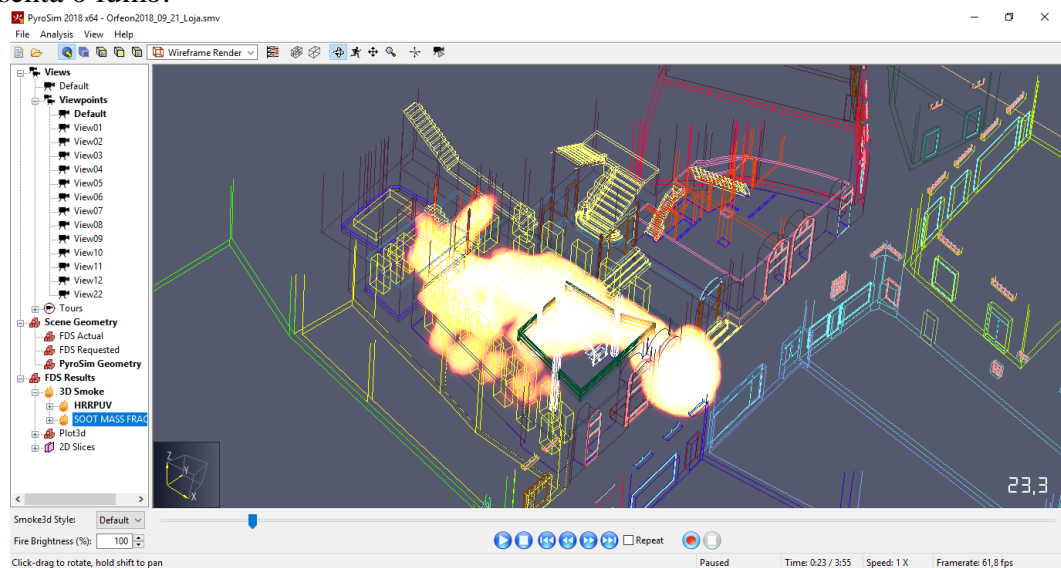


Figura 156 – Ocorrência do fenómeno de “Flash-over”

No instante $t = 25,6$ segundos ocorre a quebra do segundo vidro (fig. 157).

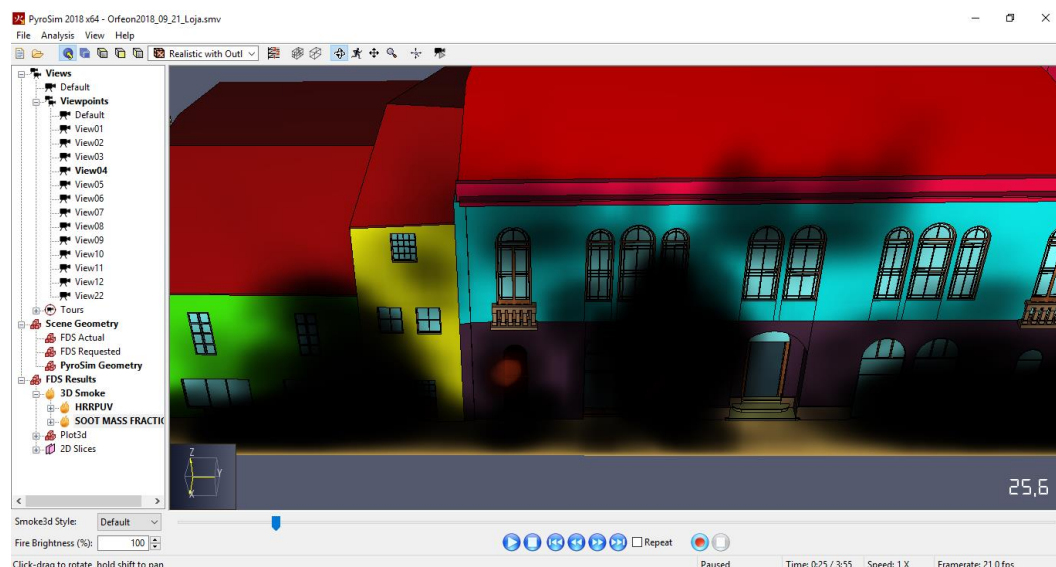


Figura 157 – Quebra do segundo vidro da montra

Após a quebra dos vidros da montra verifica-se uma propagação de fumo com uma extensão que ocupa uma boa parte da rua Direita conforme é possível visualizar na figura 158, colocando em risco os transeuntes.

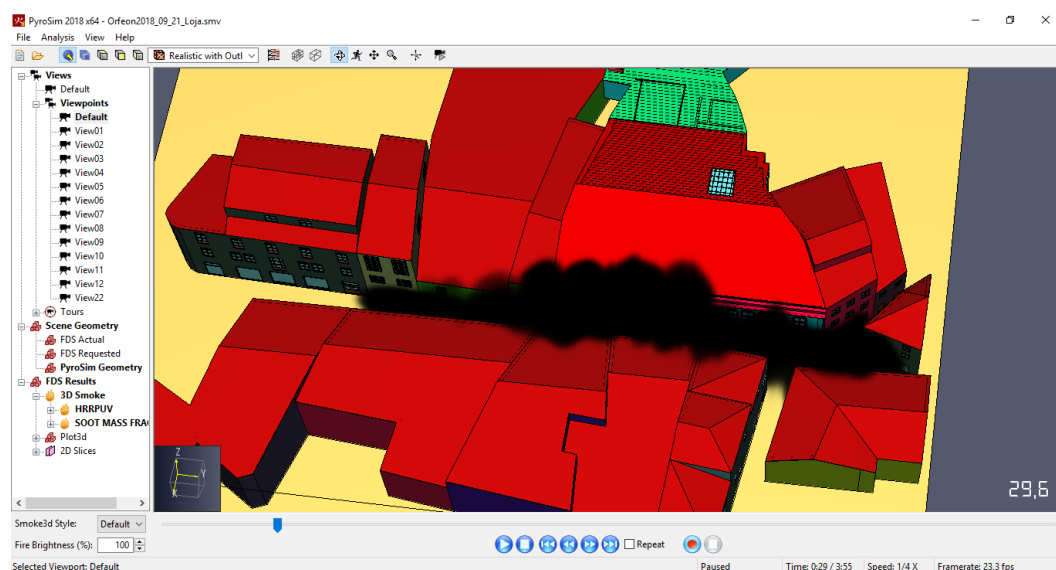


Figura 158 – Propagação do fumo na rua Direita

A evolução do incêndio tem um desenvolvimento bastante violento com a propagação de fumos e chamas a partir do instante $t = 57,8$ segundos (fig. 159), aumentando de forma significativa aos 103,7 segundos (fig. 160).

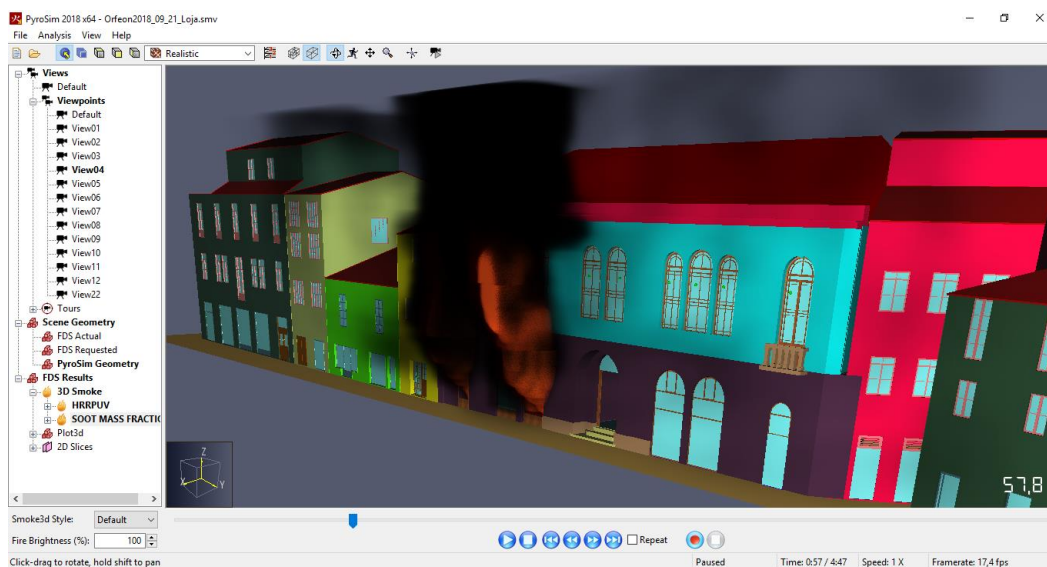


Figura 159 – Desenvolvimento do incêndio aos 57,8 segundos

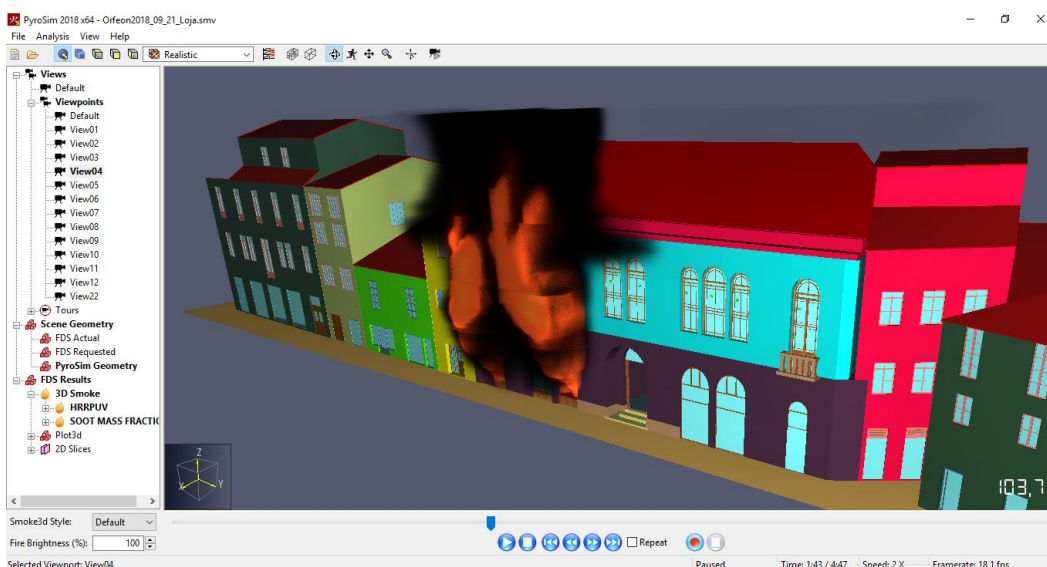


Figura 160 – Desenvolvimento do incêndio aos 103,7 segundos

Relativamente aos vidros das janelas localizadas ao nível do primeiro piso, verificou-se em todo o período de simulação a inexistência de quebra. De forma a confirmar que não se atingiu a temperatura de 360 °C no local das referidas janelas, o software 3D Smokeview para além da ferramenta de análise designada de 2D Slice já utilizada na análise dos anteriores modelos, disponibiliza uma visualização de campos de temperatura a três dimensões conforme ilustrado nas figuras 161 e 162.

Após a análise com recurso às referidas ferramentas de análise 2D e 3D, verifica-se que, durante todo o período de simulação, as janelas não atingem a temperatura de 360 °C. É possível analisar pela figura 163 que a temperatura máxima atingida foi de 270 °C.

A existência de varandas nas fachadas proporciona um afastamento, relativamente plano da fachada, das chamas com origens em pisos inferiores, incrementando a segurança contra a propagação de chamas aos pisos superiores, conforme se pode concluir pela análise da figuras

161 e 162 em que se verifica que as temperaturas na zona da janela com varanda são inferiores às temperaturas nas zonas das janelas do lado direito que não têm varanda.

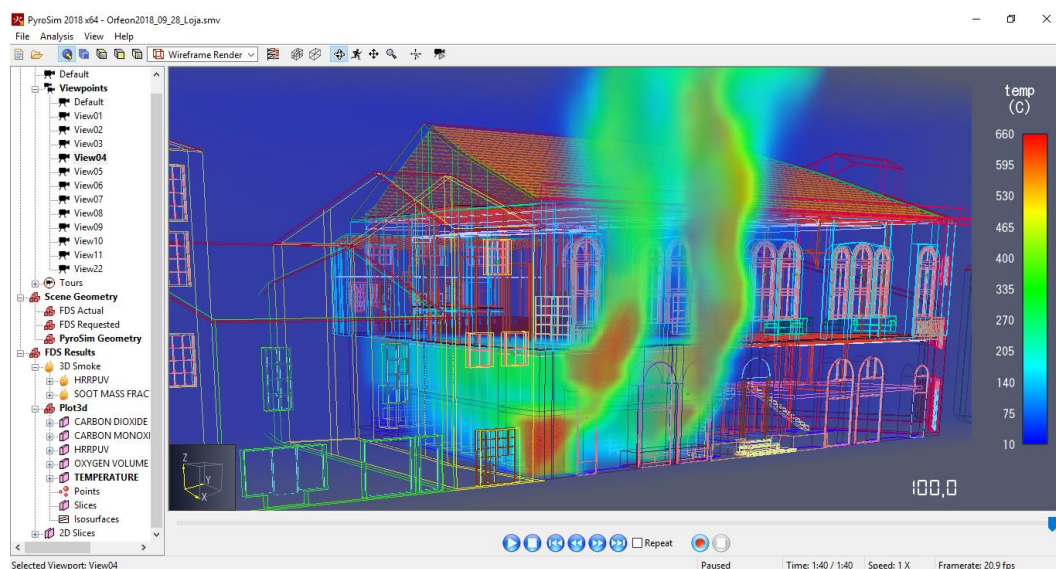


Figura 161 – Campo de temperaturas 3D – vista geral

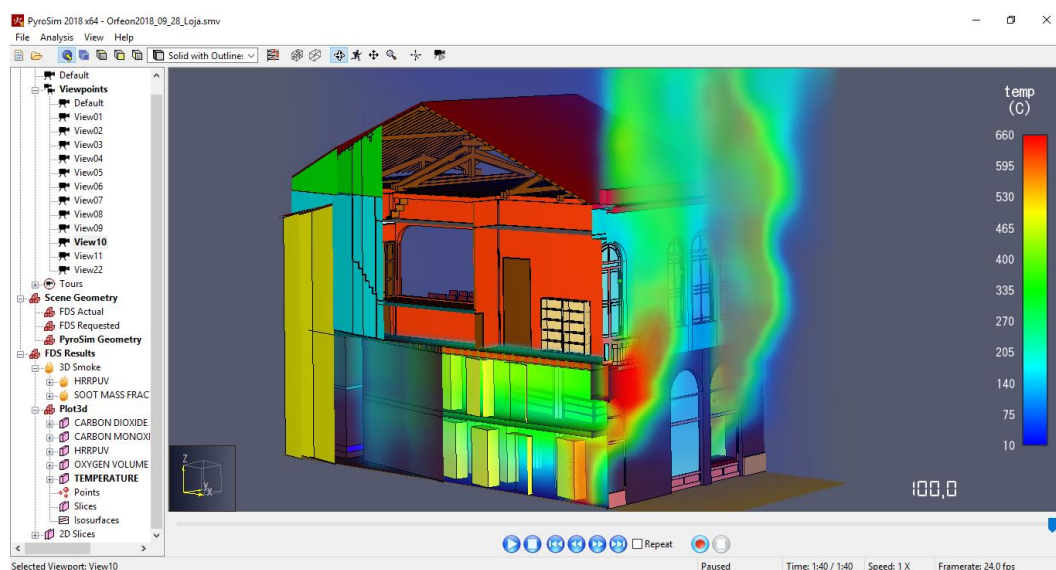


Figura 162 – Campo de temperaturas 3D – Corte

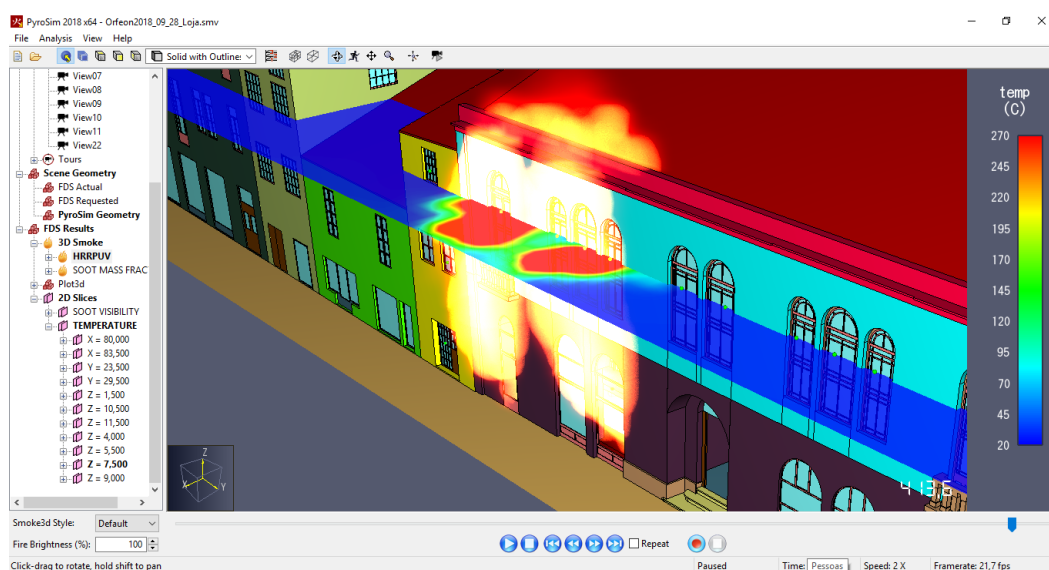


Figura 163 – Plano de temperaturas à cota 7,50 metros

Durante todo o período de simulação não se verificou a propagação do incêndio para os edifícios vizinhos. No entanto, verifica-se a propagação de chamas ao telhado até aos 430 segundos (fig. 164), período máximo que foi possível atingir para este modelo, que, devido à instabilidade numérica do cálculo, não permitiu atingir os 600 segundos pré-definidos.

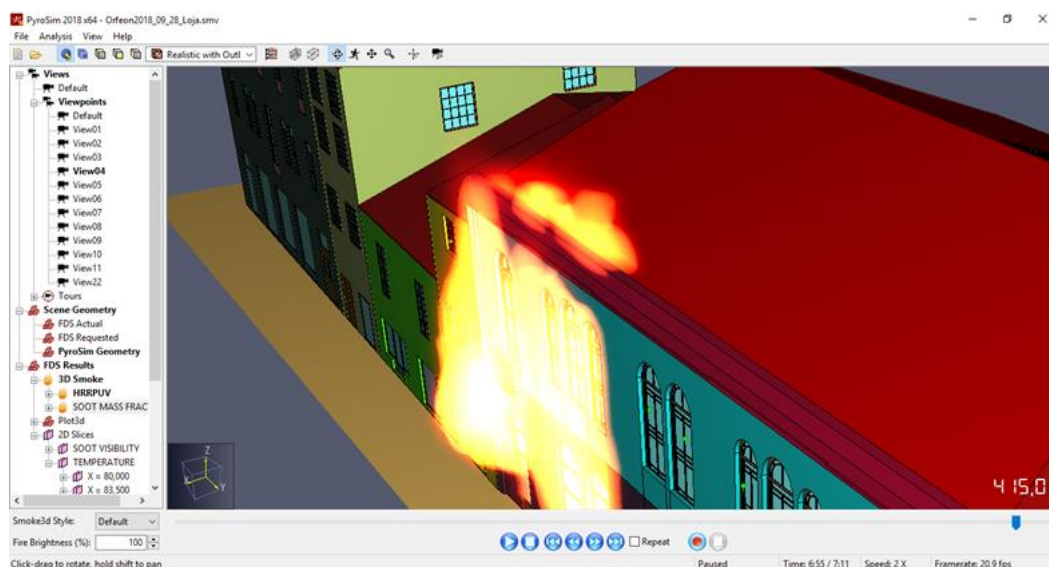


Figura 164 – Propagação de chamas ao telhado

No Anexo 1 foram colocadas imagens em vários instantes dos modelos de incêndios elaborados, ao longo do intervalo de tempo estabelecido, com recurso às lâminas de distâncias de visibilidade e de temperaturas de modo observar a evolução das várias simulações.

7. AVALIAÇÃO PRESCRITIVA SEGUNDO A LEGISLAÇÃO DE SCIE EM VIGOR

7.1. Introdução

A avaliação prescritiva tem por objetivo a verificação do cumprimento das medidas de segurança contra riscos de incêndios constantes da Portaria nº 1532/2008, de 29 de Dezembro e do Decreto-Lei nº 220/2008, de 12 de Novembro, alterado pelo Decreto-Lei 224/2015 de 9 de Outubro, do edifício do antigo Orfeão de Viseu localizado da Rua Direita em pleno centro histórico.

7.2. Caracterização do edifício quanto à sua utilização

O edifício caracteriza-se como de utilização mista com o primeiro piso classificado pela Utilização-Tipo VI, correspondendo à realização de espetáculos e reuniões públicas, e o piso térreo constituído por duas fracções onde, à data da elaboração deste trabalho, se realiza a atividade de comércio, caracterizando-se de Utilização-Tipo VIII, de acordo com o Artigo 8º do Decreto-Lei nº 224/2015.

7.3. Classificação de categoria de risco

Para o primeiro piso, classificado de U.T VI, de acordo com a alínea e) do artigo 12º e o quadro V do anexo III do D.L. 224/2015, para uma altura inferior a 9 metros, efetivo superior a 100 pessoas e sem nenhum piso abaixo do plano de referência, o edifício é classificado com a segunda categoria de risco.

Para o piso térreo, classificado de U.T. VIII, segundo a alínea g) do artigo 12º e o quadro VII do anexo III, para uma altura inferior a 9 metros, efetivo inferior a 100 pessoas e sem nenhum piso abaixo do plano de referência, o edifício é classificado com a primeira categoria de risco.

7.4. Classificação dos locais de risco

Todos os compartimentos do edifício, à exceção do salão de eventos são classificados como locais de risco A segundo a alínea a) do artigo 10º do D.L. 224/2015. O salão de eventos como se prevê ter um efetivo de público superior a 50 pessoas é classificado de local de risco B segundo a alínea b) do referido artigo e Decreto-Lei.

7.5. Condições exteriores comuns

7.5.1. Vias de acesso

Como o edifício tem uma altura inferior a 9 metros, deve-se verificar a satisfação do artigo 4º da Portaria n.º 1532/2008, de 29 de Dezembro.

Para a satisfação do número 2 do referido artigo a rua da Prebenda é a rua mais próxima que possibilita o estacionamento de veículos de socorro e satisfazer as exigências do número 3 do mesmo artigo. No entanto, a distância à porta principal do edifício localizada na rua Direita é superior a 50 metros pelo que não é cumprido o artigo 4º da referida Portaria.

7.5.2. Acessibilidade às fachadas

As portas e janelas do edifício são pontos de penetração que permitem o acesso a todos os pisos, os panos de peito de todas as janelas têm espessura inferior a 0,30 metros numa extensão superior a 0,50 metros abaixo dos peitoris. Todas as janelas têm dimensões superiores a 1,20x0,60 metros. Pelo exposto é satisfeito o artigo 6º da Portaria 1532/2008.

7.5.3. Limitações à propagação do incêndio pelo exterior

A distância medida na vertical entre vãos do piso inferior e superior é maior que 1,10 metros, logo verifica-se o cumprimento da alínea 1 do artigo 7º da portaria 1532/2008.

Não existem fachadas em diedros, deste modo, os números 3 a 7 do artigo 7º não se aplicam.

Para a satisfação da alínea 8 do mesmo artigo, como o edifício tem uma altura inferior a 9 metros e a rua Direita tem uma largura inferior a 4 metros, as paredes das fachadas em confronto têm de ter classe de resistência EI 60 ou REI 60 e os vãos existentes devem ser guarnecidos por elementos fixos E 30.

De acordo com a alínea 9, as propriedades de reação ao fogo de revestimentos exteriores sobre fachadas, caixilharias e estores devem ter a seguinte classificação:

- Revestimentos e elementos transparentes: C-s2 d0;
- Caixilharias: D-s3 d0.

Como o edifício não tem paredes de empena, não é cumprido o artigo 9º da portaria 1532/2008.

Pela mesma razão, não é satisfeita a exigência da alínea 4 do artigo 10º da referida portaria.

Para satisfação da alínea 11 do mesmo artigo e portaria, o revestimento exterior da cobertura deve ser, no mínimo, da classe de reação ao fogo C-s2 d0.

7.5.4. Disponibilidade de água para os meios de socorro

Existe um marco de incêndio embutido na parede localizado no edifício com o número 132 na rua Direita, que se encontra a uma distância inferior a 30 metros da saída principal do edifício do antigo Orfeão.

7.6. Condições gerais de comportamento ao fogo, isolamento e proteção

7.6.1. Resistência ao fogo de elementos estruturais e incorporados

Para satisfação do artigo 15º da portaria 1532/2008, a resistência ao fogo de elementos estruturais para o edifício em estudo classificado com a U.T. VI, U.T. VIII e 2ª categoria de risco deverá ser:

- Elementos estruturais de suporte: R 60;
- Elementos estruturais de suporte e compartimentação: REI 60.

7.6.2. Compartimentação geral de fogo

De acordo com o artigo 17º da portaria 1532/2008, as paredes e pavimentos localizados entre as lojas situadas no piso térreo, classificados de U.T. VIII, e o primeiro piso (incluindo as paredes de caixa de escada e o corredor de acesso à rua Direita), classificado de U.T. VI devem ter classe de resistência ao fogo EI 60 ou REI 60.

Como a área total dos dois pisos é inferior a 1600 m², não existe necessidade de compartimentação conforme é exigido pelo artigo 18º da referida portaria.

7.6.3. Isolamento e proteção de locais de risco

Para satisfação do artigo 20º da portaria 1532/2008, o salão de eventos é considerado local de risco B e as classes de resistência ao fogo dos elementos envolventes deverão ser:

- Paredes não resistentes: EI 30;
- Pavimentos e paredes resistentes: REI 30;
- Portas: E 15 C.

7.6.4. Isolamento e proteção das vias de evacuação

Não existe necessidade de proteção das vias horizontais porque todas as divisões do edifício em estudo, com a exceção do salão de eventos, são locais de risco A. Quanto ao salão de eventos, considerado local de risco B tem disponível dois caminhos de evacuação satisfazendo a alínea c) do número 1 do artigo 25º da portaria 1532/2008.

Para as vias verticais de evacuação é dispensada a exigência de isolamento e proteção pela alínea c) do número 1 do artigo 26º da referida portaria.

7.6.5. Reação ao fogo

7.6.5.1. Revestimentos em vias de evacuação

Os revestimentos nas vias de evacuação horizontais interiores, segundo o artigo 39º da portaria 1532/2008 deverão ter as seguintes classes de reação ao fogo mínimas:

- Paredes e tetos: C-s3 d1;
- Pavimentos: D_{FL}-s3.

Os revestimentos nas vias de evacuação verticais interiores, segundo o artigo 40º da portaria 1532/2008 deverão ter as seguintes classes de reação ao fogo mínimas:

- Paredes e tetos: A2-s1 d0;
- Pavimentos: C_{FL}-s1.

7.6.5.2. Revestimentos em locais de risco

Os revestimentos em locais de risco deverão satisfazer as seguintes exigências de classes de reação ao fogo, segundo o artigo 41º da portaria 1532/2008:

- Locais de risco A:
 - Paredes e tetos: D-s2 d2;
 - Pavimentos: EFL – s2.
- Locais de risco B:
 - Paredes e tetos: A2-s1 d0;
 - Pavimentos: CFL-s2.

7.6.5.3. Materiais de tetos falsos

De acordo com o número 1 do artigo 43º da portaria 1532/2008, os materiais constituintes de tetos falsos deverão ter classe de reação ao fogo mínima C-s2 d0.

A área dos equipamentos de iluminação deverá ser menor que 25% da área total do espaço de iluminação e o material dos mesmos deve ter classificação mínima de reação ao fogo D-s2 d0, conforme o número 2 dos referidos artigo e portaria.

Os dispositivos de fixação e suspensão deverão ter classificação mínima de reação ao fogo A1, conforme o número 3 dos referidos artigo e portaria.

7.6.5.4. Mobiliário fixo em local de risco B

De acordo com o número 1 do artigo 44º da portaria 1532/2008, a classificação mínima de resistência ao fogo do mobiliário fixo em local de risco B (salão de eventos) deverá ser da classe C-s2 d0

As cadeiras, poltronas e bancos estofados deverão ter classificação mínima de resistência ao fogo da classe C-s2 d0, conforme exigência do número 3 dos referidos artigo e portaria.

7.7. Condições gerais de evacuação

7.7.1. Evacuação dos locais

Todos os locais cobertos do edifício em estudo com efetivo até 50 pessoas possuem uma saída de evacuação. O salão de eventos tem um efetivo superior a 50 pessoas e possui duas saídas. Face ao exposto são cumpridas as exigências do artigo 54º da portaria 1532/2008.

Para o artigo 55º da referida portaria, o edifício em estudo cumpre as exigências quanto à distribuição e localização das saídas.

7.7.2. Caracterização das vias de evacuação horizontais

Para a satisfação do artigo 56º da portaria 1532/2008, o caminho de evacuação dos compartimentos do primeiro piso para a rua Direita cumpre com as exigências tanto para os vãos como para os caminhos de circulação que têm largura superior a 2 U.P., no entanto no caminho de evacuação para a rua Senhora da Boa Morte os vãos não cumprem a mesma largura mínima exigida.



Figura 165 – Largura do vão inferior a 2 U.P.



Figura 166 – Largura do vão inferior a 2 U.P.

7.7.3. Caracterização das vias de evacuação verticais

Tanto a escada de comunicação entre o piso térreo e o primeiro piso, como a escada de acesso ao terraço localizado nas traseiras do edifício em estudo cumprem com a largura mínima de 1 U.P. de acordo com o número 11 do artigo 64º da portaria 1532/2008.

7.8. Condições das instalações técnicas

7.8.1. Instalações de energia elétrica

Não existe elevador no edifício, assim, será uma rede elétrica convencional. No caso de serem implementadas medidas de combate a incêndio como os sistemas de desenfumagem (exaustão de fumos), abertura automática da claraboia e sistemas de extinção automática de incêndios por água ou gás, deve ser prevista a existência de fontes centrais de energia de emergência, conforme exigido pelo número 2 do artigo 72º da portaria 1532/2008.

Deve ser dado cumprimento ao Regulamento de Segurança das Instalações de Utilização de Energia Elétrica (RSIUEE), bem como outras disposições legais e normas em vigor.

A instalação dos quadros elétricos deve cumprir a satisfação das exigências do artigo 76º da portaria 1532/2008.

De acordo com o artigo 78º da portaria 1532/2008, os sistemas de gestão técnica centralizada não devem interferir com as instalações relacionadas com a segurança contra incêndio, podendo apenas efetuar registos de ocorrências sem sobreposição, em caso algum, aos alarmes, sinalizações e comandos de sistemas e equipamentos de segurança, autónomos ou proporcionados por aquelas instalações.

7.8.2. Instalações de aquecimento

Caso esteja previsto a instalação de aparelhos de aquecimento autónomos de combustão para aquecimento de águas sanitárias, os elementos incandescentes ou inflamados dos aparelhos autónomos de combustão devem ser protegidos, de forma a prevenir contactos acidentais e projeções de partículas para o seu exterior.

Os aparelhos autónomos que utilizem combustíveis líquidos ou gasosos devem ser dotados de dispositivos de corte automático de fornecimento de combustível quando, por qualquer motivo, se extinguir a chama.

A instalação de sistemas de aquecimento de águas sanitárias deve, assim, cumprir as exigências do artigo 86º da portaria 1532/2008.

7.8.3. Evacuação de efluentes de combustão

Para a evacuação de efluentes provenientes de aparelhos autónomos de combustão deve cumprir o disposto nos artigos 92º e 93º da portaria 1532/2008.

7.9. Condições gerais dos equipamentos e sistemas de segurança

7.9.1. Sinalização

Será adotada sinalização fotoluminescente, de acordo com a portaria 1532/2008.

A instalação de sinalização de segurança deve cumprir o disposto nos artigos 108º, 109º, 110º, 111º e 112º da portaria 1532/2008.

A informação contida na sinalização de emergência deve ser disponibilizada a todas as pessoas a quem essa informação seja essencial numa situação de perigo ou de prevenção relativamente a um perigo.

Na linha de visão das pessoas, não devem ser dispostas placas, publicitárias ou não, nem outros objetos, que, pela intensidade da sua iluminação ou pela sua forma, cores ou dimensões, possam ocultar os dispositivos de sinalização ou iludir os ocupantes, confundindo-os.

A sinalização a adotar para o edifício deverá estar em conformidade com o disposto nos artigos seguintes:

- As placas devem ter áreas (A) não inferiores às determinadas em função da distância (d) a que devem ser vistas, com um mínimo de 6 m e um máximo de 50 m, conforme a expressão $A \geq d^2 / 2000$.
- As placas de sinalização indicam respetivamente proibição, perigo, emergência e meios de intervenção, consoante o seu formato e cor, devendo ser de material rígido fotoluminescente.
- A distribuição das placas de sinalização deve permitir a visibilidade a partir de qualquer ponto onde a informação que contém deva ser conhecida, podendo, com esse objetivo:
 - a) Ser paralela às paredes com informação numa só face;
 - b) Ser perpendicular às mesmas paredes, ou suspensa do teto, com informação em dupla face;
 - c) Fazer um ângulo de 45° com a parede, com informação nas duas faces exteriores.
- As placas que fiquem salientes relativamente aos elementos de construção que as suportam, devem ser fixadas a uma altura igual ou superior a 2,1 m e não superior a 3 m, exceto em espaços amplos mediante justificação fundamentada.
- A sinalização dentro dos locais de permanência deve ser claramente distinguível de qualquer ponto desse local cuja linha de observação relativamente à placa faça um ângulo superior a 45° com a parede onde se localiza o objeto, elemento ou equipamento sinalizado.
- Toda a sinalização referente às indicações de evacuação e localização de meios de intervenção, alarme e alerta, quando colocada nas vias de evacuação, deve estar na perpendicular ao sentido das fugas possíveis nessas vias:
 - Nos locais de mudança de direção das vias referidas deve ser colocada sinalização adequada ao sentido da fuga a tomar, de forma inequívoca.
 - Sem prejuízo do disposto no n.º 1, a distância de colocação das placas nas vias de evacuação e nos locais de permanência deve variar entre 6 e 30 m.
 - Sem prejuízo do referido no número anterior, nos locais de permanência e nas vias horizontais de evacuação acessíveis a público deve ser visível uma placa

indicadora de saída ou de sentido de evacuação, pelo menos, a partir de qualquer ponto suscetível de ocupação.

- Nas vias verticais de evacuação devem ser montadas placas, pelo menos, no patamar de acesso, indicando o número do andar ou a saída, se for o caso, e no patamar intermédio, indicando o sentido da evacuação.
- As placas de sinalização devem ser colocadas o mais próximo possível das fontes luminosas existentes, a uma distância inferior a 2 metros em projeção horizontal, mas não coladas sobre os aparelhos.

7.9.2. Iluminação de emergência

A instalação de iluminação de emergência deve cumprir o disposto nos artigos 113º, 114º e 115º da portaria 1532/2008.

A iluminação de emergência compreende a iluminação de balizagem ou circulação, com o objetivo de facilitar a visibilidade no encaminhamento seguro das pessoas até uma zona de segurança e, ainda, possibilitar a execução das manobras respeitantes à segurança e à intervenção dos meios de socorro.

Nas instalações de iluminação de balizagem ou circulação, as lâmpadas de descarga, quando existam, devem possuir tempos de arranque não superiores a:

- a) Cinco segundos para atingir 50% da intensidade de iluminação;
- b) Sessenta segundos para atingir 100 % da intensidade de iluminação.

A autonomia de funcionamento da iluminação de ambiente e de balizagem ou circulação deve ser a adequada ao tempo de evacuação dos espaços que serve, com um mínimo de 15 minutos.

A iluminação de ambiente deve garantir níveis de iluminância tão uniformes quanto possível, com um valor mínimo de 1 lux, medido no pavimento.

A instalação de blocos autónomos permanentes e não permanentes de iluminação de segurança garantirão os níveis de circulação regulamentares e permitirão a sinalização ativa das vias de evacuação e das saídas e os níveis de iluminação suficientes para acesso e utilização dos meios de primeira intervenção.

O sistema a utilizar para iluminação de emergência da circulação será baseado em blocos autónomos de iluminação não-permanente assinalando as saídas.

O corte geral de energia poderá ser efetuado no quadro geral do edifício.

7.9.3. Detecção, alarme e alerta

O edifício deverá ser equipado com instalações que permitam detetar o incêndio e, em caso de emergência, difundir o alarme para os seus ocupantes, alertar os bombeiros e acionar sistemas e equipamentos de segurança. Para o efeito, prevê-se a instalação de um sistema de deteção

automático, com central de alarme, sirene, botoneiras e detetores de fumos. Será utilizado um sistema com a configuração 3 conforme artigos 128º e 129º da portaria 1532/2008.

A instalação de sistemas automáticos de detecção de incêndio deve cumprir as disposições de segurança dos artigos 116º a 132º da portaria 1532/2008.

7.9.4. Controlo de fumo

Caso sejam implementadas as medidas de combate a incêndio propostas neste trabalho, nomeadamente o sistema de exaustão de fumos no salão de eventos e a claraboia de funcionamento automático de abertura, na caixa de escadas, as suas instalações devem cumprir o disposto nos artigos 133º a 161º da portaria 1532/2008.

7.9.5. Meios de intervenção

Em termos de meios de intervenção, serão adotados extintores de pó químico ABC, a implantar de acordo com as peças desenhadas constantes no Anexo 2.

Segundo o artigo 163º da portaria 1532/2008, o critério de dimensionamento utilizado para o cálculo do número de extintores, deve ter em consideração:

- a) 18 L de agente extintor padrão por 500 m² ou fração de área de pavimento do piso em que se situem;
- b) Um por cada 200 m² de pavimento do piso ou fração.

Os extintores devem ser convenientemente distribuídos, sinalizados e instalados em locais bem visíveis, colocados em suporte próprio de modo a que o seu manípulo fique a uma altura não superior a 1,20 metros e localizados preferencialmente nas comunicações horizontais ou no interior dos grandes espaços junto às saídas.

Deverá ser implementado uma rede de incêndio armada do tipo carretel conforme exigência do artigo 164º da portaria 1532/2008. Para a sua implantação, no edifício em estudo, deve ser cumprido os critérios exigidos nos artigos 165º, 166º e 167º da portaria 1532/2008. A localização das bocas de incêndio deve ser de acordo com as peças desenhadas constantes no Anexo 2.

7.9.6. Sistemas fixos de extinção automática de incêndios

Caso sejam implementadas as medidas de combate a incêndio propostas neste trabalho, nomeadamente o sistema fixo de extinção automática de incêndios por água ou gás, as suas instalações devem cumprir o disposto nos artigos 172º a 176º da portaria 1532/2008.

7.9.7. Detecção automática de gás combustível

Deverá ser implementado um sistema de detecção automática e corte de gás combustível, na zona técnica onde se implementar a caldeira, conforme exigido pelo artigo 184º da portaria 1532/2008.

7.9.8. Posto de segurança

Deverá ser implementado um Posto de Segurança, no corredor do piso térreo junto à porta principal, onde ficarão todas as chaves, a central de incêndio e as medidas de auto-proteção a utilizar no edifício.

8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTOS

8.1. Conclusões

A elaboração deste trabalho permitiu a aquisição de conhecimentos de segurança contra incêndios em edifícios através do desenvolvimento de uma avaliação baseada no desempenho com recurso a software de simulação dinâmica de incêndios FDS e visualização de resultados com a utilização do software 3D Smokeview e de uma avaliação prescritiva com base na legislação de SCIE em vigor.

De entre os vários modelos elaborados e a análise dos respetivos resultados, concluiu-se que o modelo C em conjunto com a limitação do número de ocupantes no salão de eventos obteve o melhor resultado na perspetiva de segurança na evacuação das pessoas, para além da contenção do incêndio no interior do edifício dificultando a sua propagação para os edifícios vizinhos.

A elaboração do modelo D com recurso a um sistema automático de extinção a gás que apesar do custo elevado do material e a exequibilidade da sua aplicação (só funciona eficazmente em compartimentos fechados), teve por objetivo principal demonstrar o potencial deste tipo de programas informáticos que disponibilizam uma quantidade e variedade apreciável de soluções de combate ao incêndio possíveis de implementar e verificar a amplitude do seu impacto no desenvolvimento do fogo e do fumo.

Relativamente ao modelo E, a sua elaboração teve como preocupação a carga de incêndio elevada que normalmente é verificada em lojas de comércio e o risco de propagação de incêndio aos edifícios vizinhos.

Os resultados dos modelos de incêndio e de evacuação permitem várias conclusões:

- A existência de duas saídas localizadas em lados opostos do edifício tem uma elevada importância aumentando as possibilidades de sucesso na evacuação dos ocupantes em menor intervalo de tempo e com melhores condições de segurança;
- A altura elevada do pé-direito do edifício aumenta o tempo de evacuação dos ocupantes devido ao maior tempo de preenchimento por completo, pelo fumo, das divisões interiores, devido ao maior volume interno;
- A propagação de incêndios entre pisos pelo exterior é dificultada pela maior altura do pé-direito (a distância entre janelas, na direção vertical, é superior), conforme foi possível verificar pelos resultados do modelo E;
- Para que exista uma propagação de incêndios aos edifícios vizinhos com um desenvolvimento muito rápido, é necessária uma carga de incêndio muito elevada em áreas de consideráveis dimensões, o que não se verifica no caso do edifício em estudo e o local em que se insere.

Para o sucesso da evacuação, é importante o cumprimento do estipulado na avaliação prescritiva relativamente à sinalização dos caminhos de evacuação e saídas de emergências, sobretudo o caminho de evacuação para a rua da Senhora da Boa Morte, pois é bastante previsível que os

ocupantes não tenham conhecimento desta saída, e optem, num cenário de incêndio, pela saída conhecida para a rua Direita. Devem ser colocadas barras anti - pânico e aberturas de portas para o exterior. Nas escadas localizadas no anexo traseiro que dão acesso ao terraço exterior deve ser pensada uma solução de arquitetura que permita a colocação de portas com abertura total para o exterior.

A simulação computacional é uma importante ferramenta de auxílio na análise e compreensão do incêndio, uma vez que proporciona a execução de diversos testes para diferentes cenários elaborados, permitindo, deste modo, uma previsão aproximada do comportamento dos incêndios, sendo uma base plausível para avaliação da eficiência de medidas de combate ao incêndio e consequente elaboração de pareceres técnicos, evitando os custos resultantes de ensaios físicos experimentais.

8.2. Sugestões para desenvolvimentos futuros

Para um maior rigor e aproximação à realidade dos resultados dos modelos FDS, devem ser realizados estudos de caracterização dos materiais aplicados no cenário de incêndio tendo por objetivo a adequação e calibração dos modelos FDS.

Os modelos de evacuação elaborados carecem de tempos contabilizados com o início do incêndio até aos alertas dos sistemas de incêndios, à reação e decisão dos ocupantes, por não ter registos ou estudos sobre este tema, deste modo, a simulação de futuros modelos devem ter um acréscimo de tempo respeitantes às referidas causas.

A elaboração dos modelos 3D com recurso ao Autocad, foi baseada nas plantas 2D, gentilmente cedidas pela autarquia de Viseu, mas o desenvolvimento tecnológico dos últimos anos tanto ao nível do software como do hardware, para além do custo cada vez menor das novas tecnologias tem permitido o surgimento de ferramentas como o varrimento por laser ou “laser scanning” que permite o levantamento e posterior modelação tridimensional com rapidez e elevado rigor dos edifícios. O maior conhecimento das características dos materiais presentes num cenário de incêndio aliado a um modelo tridimensional rigoroso tem como consequência a obtenção de resultados do cálculo de um incêndio mais rigorosos, fiáveis e próximos da realidade.

A tecnologia do varrimento por laser permite a obtenção de um documento digital rigoroso com toda a informação sobre alturas, distâncias e volumetrias tanto interior como exterior, contribuindo para um cadastro do património que poderá ser extremamente útil (fig. 167). Com esta informação, permite-nos não só ter um registo do património, como podemos datar toda e qualquer evolução sofrida ao longo do tempo, elaborar para além da segurança contra incêndios, estudos de eficiência energética, acústica e outras valências da engenharia e da arquitetura.



Figura 167 - Levantamento Laser Scanning e Modelo BIM do edifício existente – Casa do Médico (Campos, 2018)

A vantagem deste tipo de tecnologias, para a recuperação e conservação de edifícios históricos ficou patente no caso do projeto de reabilitação dos Edifícios Singulares da Companhia de Fiação do Crestuma do atelier Marta Campos – Arquitetura (Campos, 2018). Um dos edifícios, conhecido como a “Casa do Médico”, tinha sido feito o levantamento com recurso ao “laser scanning”, elaborado o projeto de reabilitação e estava já em fase de projeto de execução quando os violentos incêndios de outubro de 2017 devastaram todo o edifício apenas ficando as paredes. Todos elementos como portas, portadas, ornamentos dos beirados, estruturas das coberturas e vários outros elementos foram destruídos, mas devido ao trabalho de levantamento executado, vai ser possível a reprodução de todos estes elementos com o rigor histórico (ver fig. 168).



Figura 168 – Casa do Médico – Antes e depois dos incêndios de outubro de 2017 [4]

Por todas as vantagens descritas acerca deste tipo de tecnologias, penso que irá potenciar a utilização cada vez mais frequente da avaliação baseada no desempenho da segurança contra incêndios em edifícios com recurso a softwares de simulação dinâmica computacional de incêndios em edifícios.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andersson, L., (1988). *Risker och brister vid utrymning. Brandingenjorslinjen, Lunds Tekniska Högskola*. Universitetsbiblioteket, Lund, Sweden
- Babrauskas, V., (1997). *Glass breakage in fires*.
- Campos, M., (2018). *Reabilitação dos Edifícios Singulares da Companhia de Fiação de Crestuma*. Atas do 2º Congresso Português de Building Information Modelling, Lisboa.
- Capote Abreu, J.A., Alvear Portilla, D., Lázaro Urrutia, M. e Espina Santos, P., (2005). *Dinamica del Incendio en Edificios mediante Modelado y Simulación Computacional: CFAST, OZONE, FDS*. Grupo GIDAI - Seguridad contra Incendios - Investigación y Tecnología.
- Coelho, A. L., (1997). *Modelação Matemática da Evacuação de Edifícios Sujeitos à Acção de um Incêndio*. Volumes I e II ed. Porto: Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Correia, A., (2013). *Apontamentos de apoio de Física dos Edifícios – Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construção Urbana – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra*
- Costa, I., (2001). *Estudo Paramétrico da Resistência ao Fogo de Vigas Mistas Aço-Concreto*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Belo Horizonte
- Dolvitsch, J.N., Ruschel, F. e Silva Filho, L.C.P., (2011). *Avaliação da Utilização de Métodos Computacionais na Reconstituição de Incêndios em Edificações: Caso do Shopping Total em Porto Alegre - Rio Grande do Sul*. Anais: I Congresso Ibero-Latino Americano sobre Segurança Contra Incêndio, Natal.
- Glaser, J., Valasek, L., Weisenpacher, P. e Halada, L., (2012). *Use of PyroSim for Simulation of Cinema Fire*. International Journal on Recent Trends in Engineering & Technology, Vol. 7, Issue 2, pp. 51-56.
- Grosshandler, W., Bryner, N., Madrzykowski, D. e Kuntz, K., (2005). *NIST NCSTAR 2: Vol. I - Report of the Technical Investigation of The Station Nightclub Fire*. National Institute of Standards and Technology (NIST), Washington, D. C.
- Gwynne, S., Rosenbaum, E., (2008). *Employing the Hydraulic Model in Assessing Emergency Movement*. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4th edition. National Fire Protection Association, Quincy. 3-396-3-373
- Hurtado, J.P., Caldas, R.B., Rodrigues, F.C. e Meira, L.O. (2013). *Simulação Computacional de um Incêndio em Edificação Residencial de Baixo Custo*. Atas do 2º Congresso Ibero-Latino-Americano em Segurança Contra Incêndios, Coimbra.
- Jahn, W., Rein, G. e Torero, J.L. (2007). *The Dalmarnock Fire Tests: Experiments and Modelling - 11. A Posteriori Modelling of Fire Test One*. School of Engineering and Electronics, Universidade de Edimburgo, Edimburgo. ISBN 978-0-9557497-0-4.
- Jahn, W., Rein, G. e Torero, J.L. (2011). *A posteriori modelling of the growth phase of Dalmarnock Fire Test One*. Building and Environment, Vol. 46, pp. 1065-1073.

- Kim, J., Lilley, D. (2000). *Heat Release Rates of Burning Items in Fires*. AIAA 2000-0722. 38th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit. Reno.
- Kim, J., Lee, J.-H. e Kim, S. (2011). *Estimating the fire behavior of wood flooring using a cone calorimeter*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 110, Issue 2, pp. 677-683.
- Kolaitis, I.D., Asimakopoulou, E. e Founti, M.A. (2011). *Simulation of Fire Spreading in a Residential Building: Comparing Alternative Building Techniques*. First Middle East Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures, Dubai.
- Lawson, J.R., Walton, W.D. e Twilley, W.H. (1984). *NBSIR 93-2787 Fire Performance of Furnishings As Measured in the NBS Furniture Calorimeter. Part I*. Center for Fire Research, National Engineering Laboratory, National Bureau of Standards, U.S. Department of Commerce, Washington, D. C.
- Lorenzi, A., Lemonje, T.A., Schmitt, C.M., Klein, D.L. (2017). *Simulação Computacional de Incêndio em Edificações Multifamiliares com Escada Não Enclausurada*. XVI Congresso de Controle da Qualidade na Construção, Assunção. ISBN 978-99967-0-464-2
- Mariani, L.M. e Silva, L.C. (2011). *Aplicação do Programa Fire Dynamics Simulator em Simulação de Incêndio Estrutural*. Anais: I Congresso Ibero-Latino Americano sobre Segurança Contra Incêndio, Natal.
- Pereira Correia, J. (1954). *Como e quando se formou o Orfeão de Viseu*. XXV Aniversário 1929 – 1954, Revista comemorativa das bodas prata do Orfeão de Viseu, pp. 8 – 13.
- Pinto, N. M. A., (2008). *Novos Contributos para a Modelação da Evacuação de Edifícios em Situação de Emergência*, s.l.: s.n.
- Rein, G., Torero, J.L., Jahn, W., Stern-Gottfried, J., Ryder, N.L., Desanghere, S., Lázaro, M., Mowrer, F., Coles, A., Joyeux, D., Alvear, D., Capote, J.A., Jowsey, A., Abecassis-Empis, C. e Reszka, P. (2009). *Round-Robin Study of a priori Modelling Predictions of The Dalmarnock Fire Test One*. Fire Safety Journal, Vol. 44, Issue 4, pp. 590-602.
- Rein, G., Torero, J.L., Jahn, W., Stern-Gottfried, J., Ryder, N.L., Desanghere, S., Lázaro, M., Mowrer, F., Coles, A., Joyeux, D., Alvear, D., Capote, J.A., Jowsey, A. e Reszka, P. (2007). *The Dalmarnock Fire Tests: Experiments and Modelling - 10. A Priori Modelling of Fire Test One*. School of Engineering and Electronics, Universidade de Edimburgo, Edimburgo. ISBN 978-0-9557497-0-4.
- Reynolds, C. (1999). *Steering Behaviors For Autonomous Characters*. Proceedings of the Game Developers Conference. Miller Freeman Game Group, San Francisco, California, In, pp 763–782
- Ronchi, E., Nilsson, D. (2013). *Assessment of total evacuation strategies in Tall Buildings*. Fire Protection Research Foundation. Technical Report, National Fire Protection Association, Quincy.
- Sekret, R., Saleta, D., Sztarbala, G. e Smardz, P. (2013). *Comparison of CFD Modelling with Fire Tests*. Proceedings of International Conference - Applications of Structural Fire Engineering, Praga.
- Wetterlund, I., Goransson, U., (1988). *A Full Scale Fire Test Method for Free-Hanging Curtain and Drapery Textiles*. Nordtest Projekt No. 705-87, Boras.

Yuen, A.C.Y., Yeoh, G.H., Alexander, R. e Cook, M. (2014). *Fire scene reconstruction of a furnished compartment room in a house fire*. Case Studies in Fire Safety, Vol. I, pp. 29-35.

• LEGISLAÇÃO

Decreto-Lei nº.220/2008, de 12 de novembro - Regime Jurídico da Segurança contra Incêndios em Edifícios (RJSCIE)

Decreto-Lei nº.224/2015, de 9 de outubro - Regime Jurídico da Segurança contra Incêndios em Edifícios (RJSCIE)

Portaria nº1532/2008, de 29 de dezembro - Regime Técnico de Segurança contra Incêndios em Edifícios (RT-SCIE)

Despacho nº2074/2009 de 15 de janeiro - Regime Técnico de Segurança contra Incêndios em Edifícios (RT-SCIE)

• Referência de websites visitados

[1] <http://www.blogsnc.com.br/2013/01/classes-de-incendio.html#axzz5Eu4rS6tX>

[2] <https://www.todamateria.com.br/propagacao-de-calor/>

[3] <https://earth.google.com/web/>

[4] <https://www.linkedin.com/pulse/o-que-safa-%C3%A9-haver-levantamento-laser-scanning-inc%C3%AAndios-campos/?trackingId=ZD0FPdv%2Brb1es4PxxkzjgpQ%3D%3D>

[5] <http://www.segurancaonline.com/gca/index.php?id=100>

[6] <https://www.thunderheadeng.com/>

[7] <https://www.rcaap.pt/>

[8] <https://www.researchgate.net/>

[9] <http://www.prociv.pt/pt-pt/Paginas/default.aspx>

[10] <http://www.viseupatrimonio.pt/>

ANEXO 1 – ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DAS TEMPERATURAS E DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE DOS MODELOS CALCULADOS

1. Localização dos planos de temperaturas e visibilidade

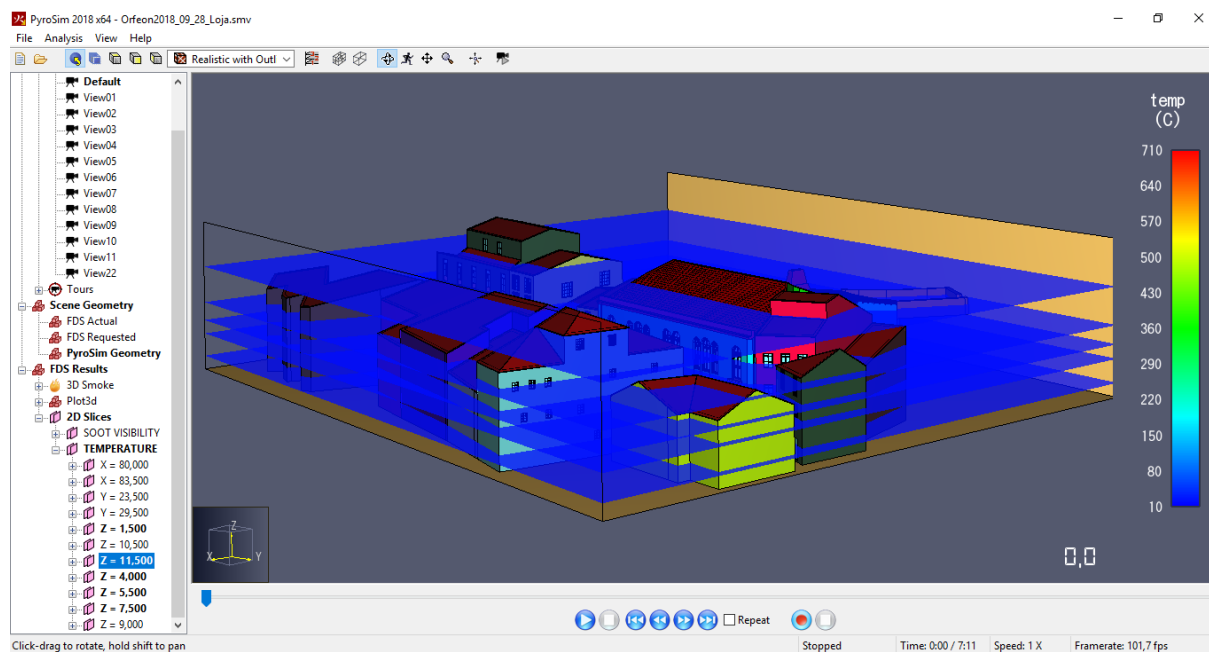


Figura 169 – Vista geral dos planos de medição de temperaturas e visibilidade

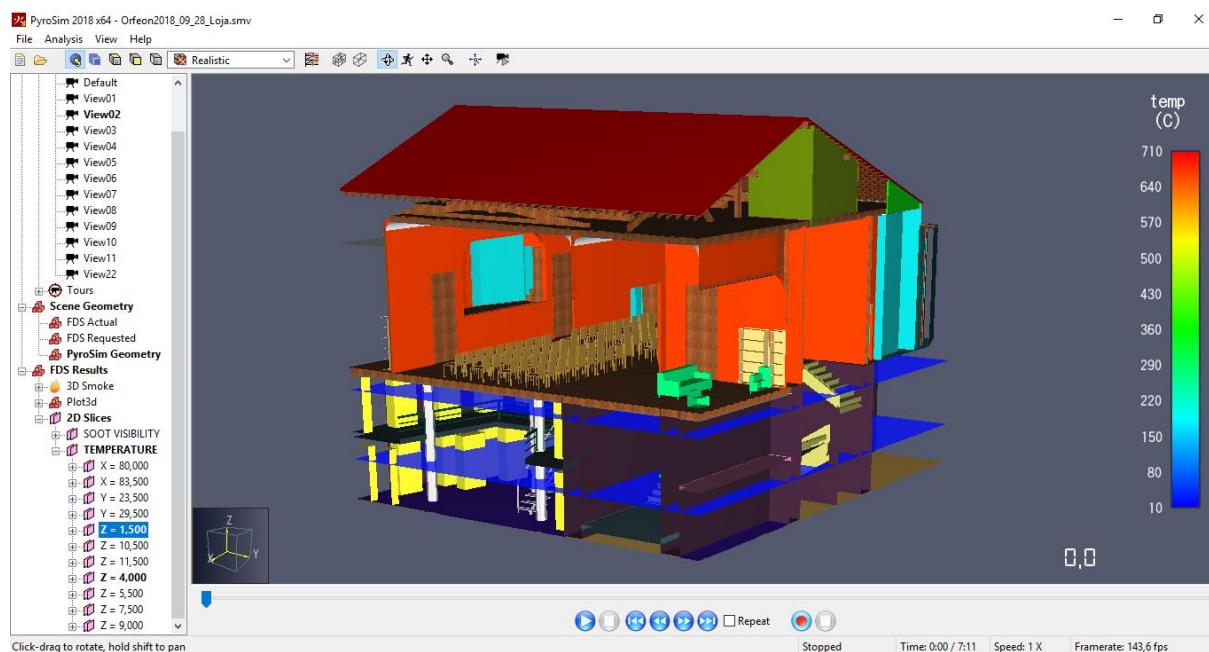


Figura 170 – Planos de medição à cota 1,50 e 4,00 metros

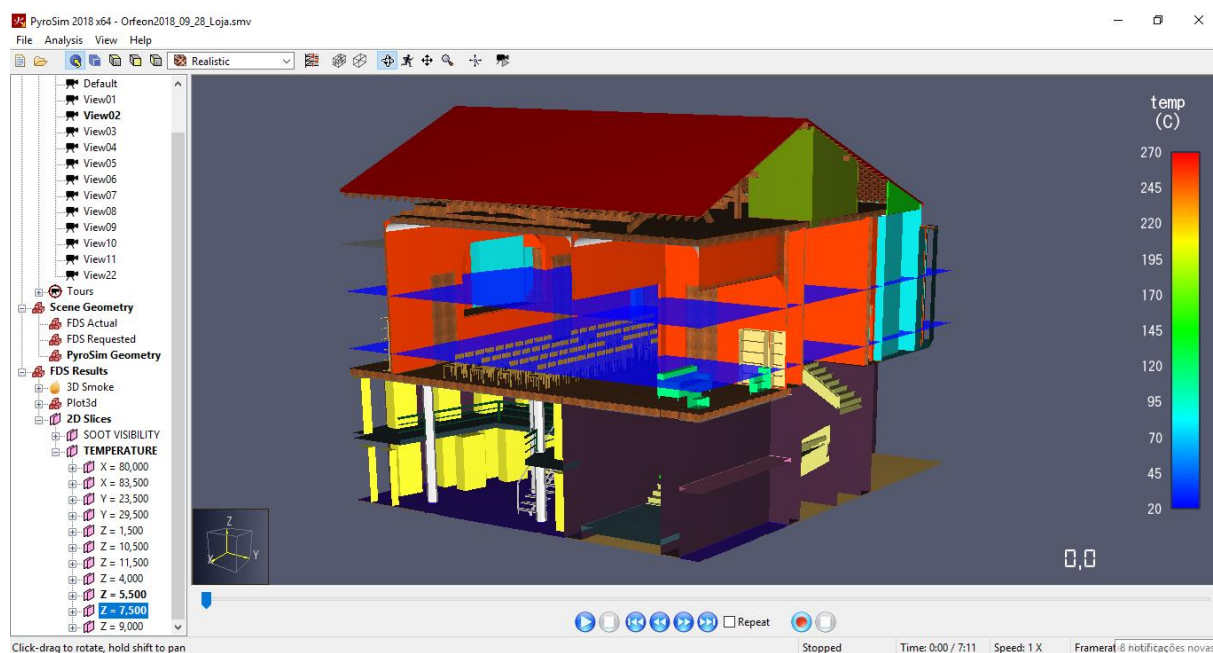


Figura 171 – Planos de medição à cota 5,50 e 7,50 metros

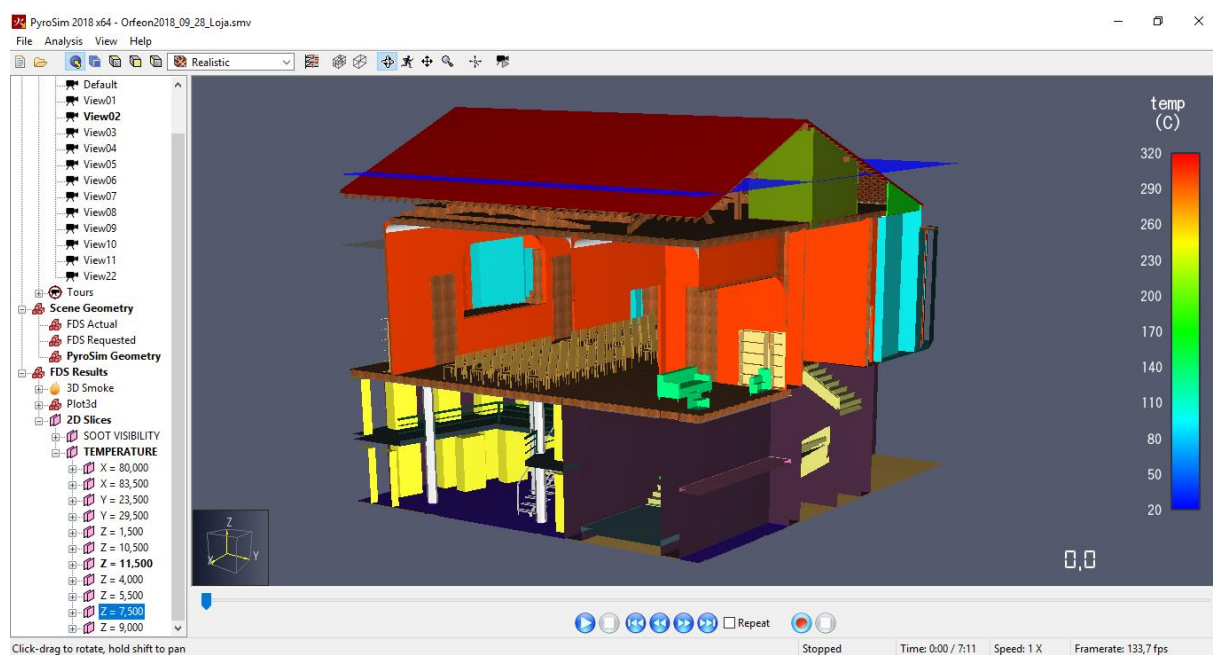


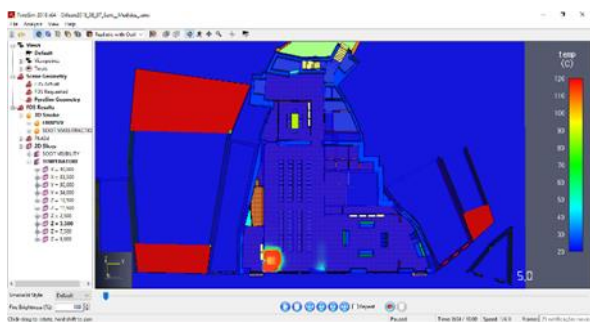
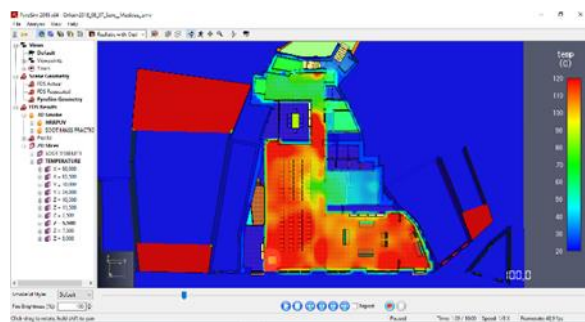
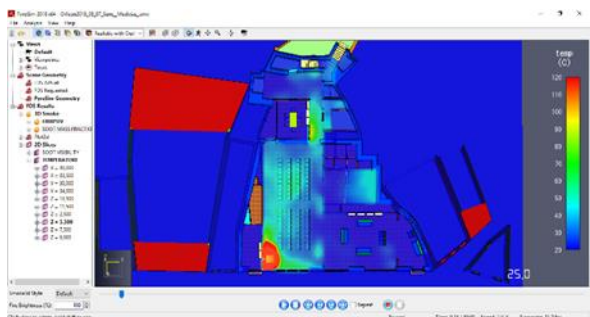
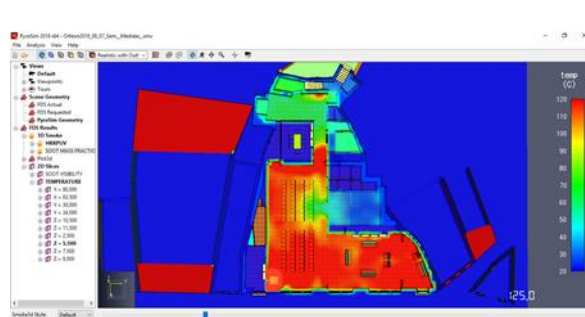
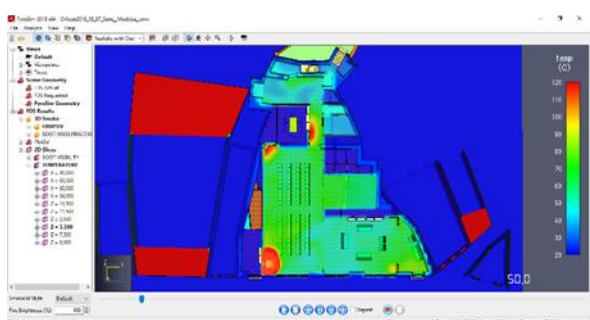
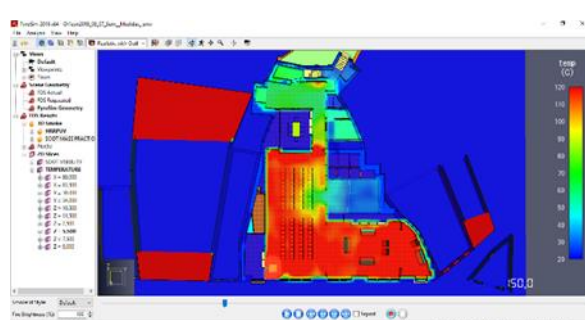
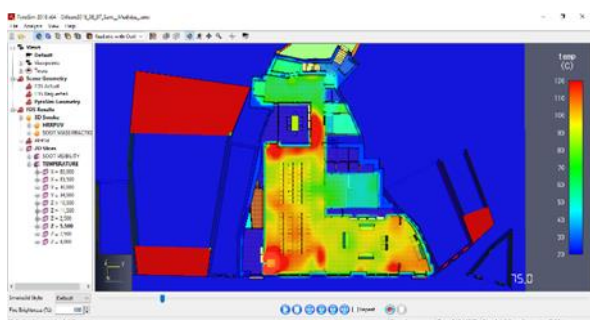
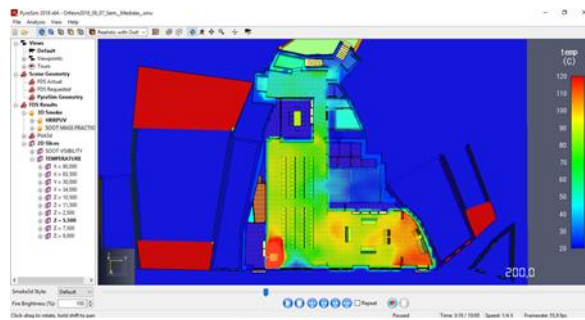
Figura 172 – Planos de medição à cota 11,50 metros

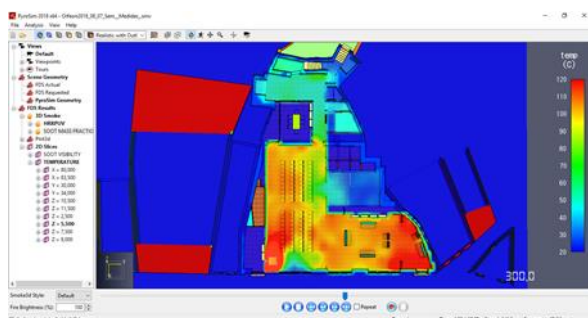
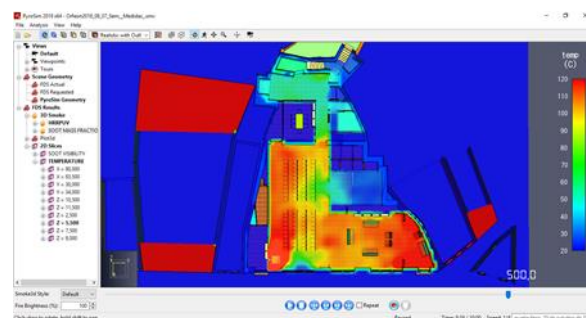
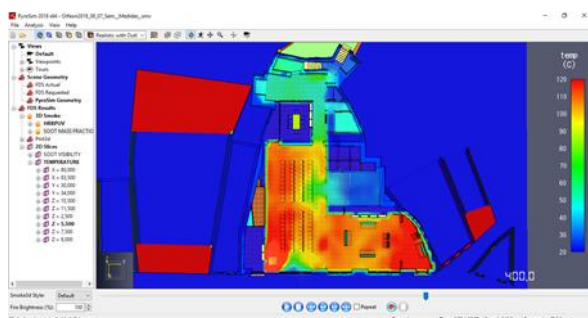
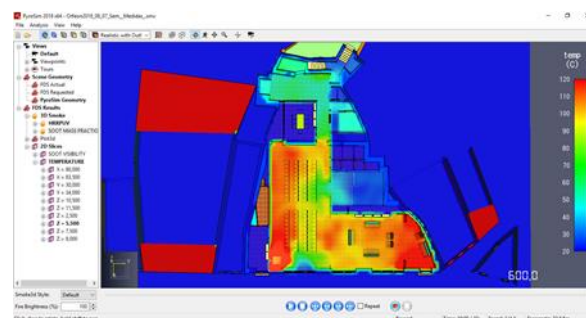
2. Modelo A – Evolução das temperaturas e distâncias de visibilidade

2.1. Plano de temperaturas – cota 5,50 metros

Nota 1 - Cota Piso 1: 4,80 metros

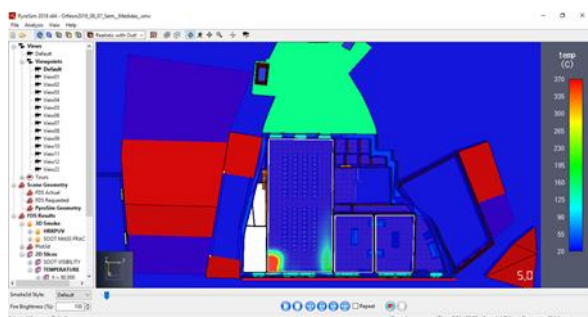
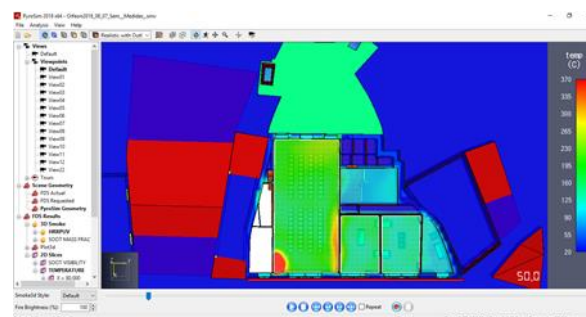
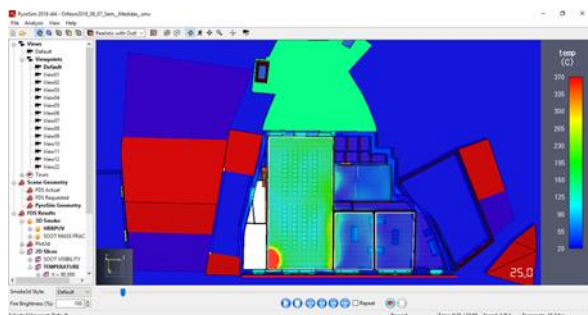
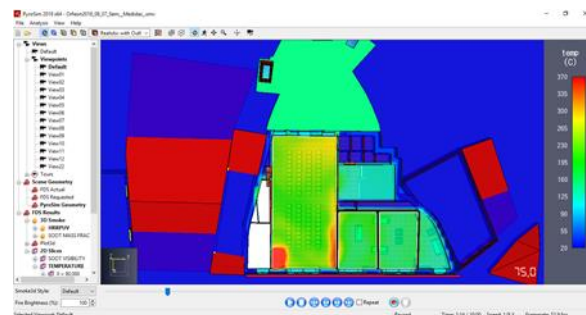
Nota 2 - Temperatura máxima atingida: 120 °C

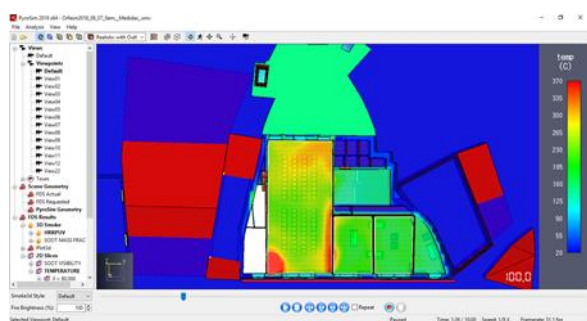
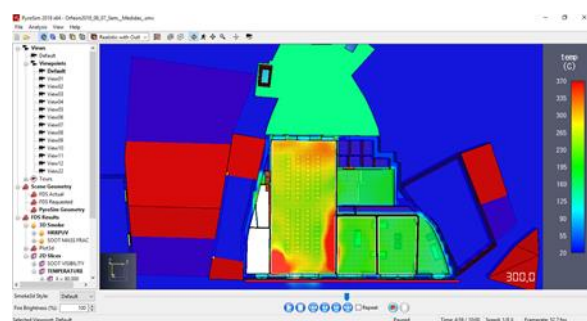
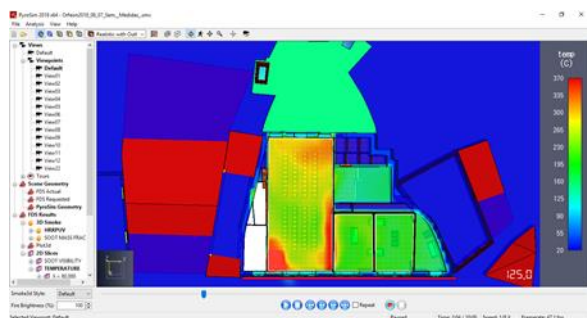
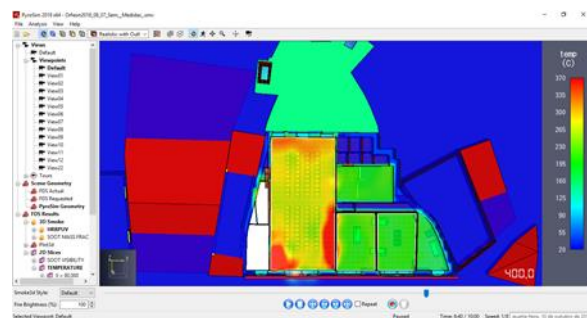
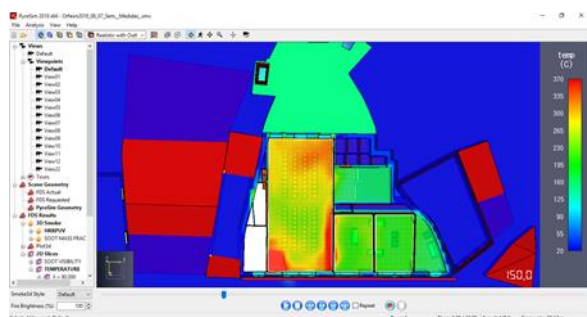
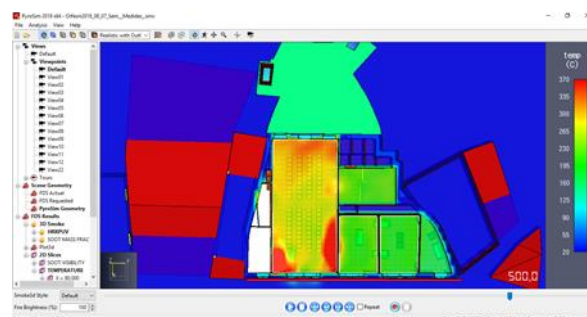
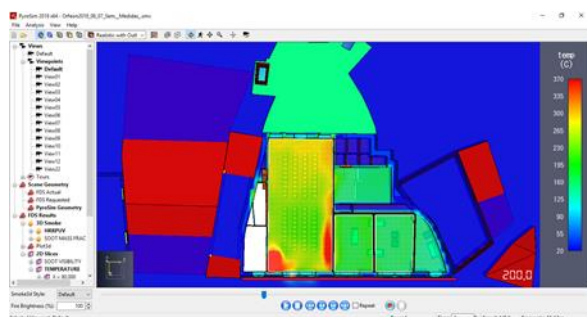
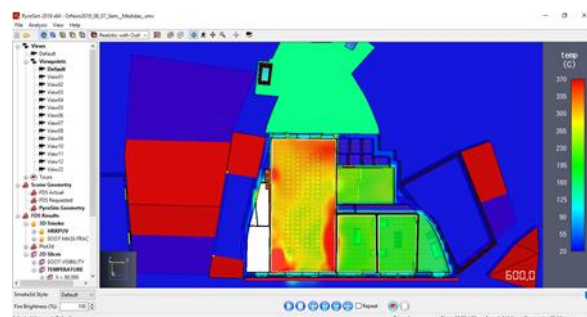
Figura 173 – Plano de temperaturas $t = 5$ sFigura 177 – Plano de temperaturas $t = 100$ sFigura 174 – Plano de temperaturas $t = 25$ sFigura 178 – Plano de temperaturas $t = 125$ sFigura 175 – Plano de temperaturas $t = 50$ sFigura 179 – Plano de temperaturas $t = 150$ sFigura 176 – Plano de temperaturas $t = 75$ sFigura 180 – Plano de temperaturas $t = 200$ s

Figura 181 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 183 – Plano de temperaturas $t = 500$ sFigura 182 – Plano de temperaturas $t = 400$ sFigura 184 – Plano de temperaturas $t = 600$ s

2.2. Plano de temperaturas – cota 7,50 metros

Nota 3 - Temperatura máxima atingida: 370 °C

Figura 185 – Plano de temperaturas $t = 5$ sFigura 187 – Plano de temperaturas $t = 50$ sFigura 186 – Plano de temperaturas $t = 25$ sFigura 188 – Plano de temperaturas $t = 75$ s

Figura 189 – Plano de temperaturas $t = 100$ sFigura 193 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 190 – Plano de temperaturas $t = 125$ sFigura 194 – Plano de temperaturas $t = 400$ sFigura 191 – Plano de temperaturas $t = 150$ sFigura 195 – Plano de temperaturas $t = 500$ sFigura 192 – Plano de temperaturas $t = 200$ sFigura 196 – Plano de temperaturas $t = 600$ s

2.3. Plano de temperaturas – cota 11,50 metros

Nota 4 - Cota Piso Sótão: 10,20 metros

Nota 5 - Temperatura máxima atingida: 170 °C

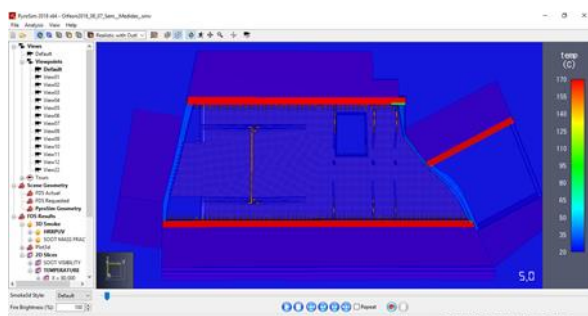


Figura 197 – Plano de temperaturas t = 5 s

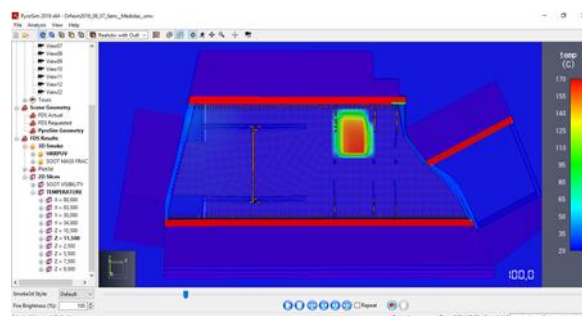


Figura 201 – Plano de temperaturas t = 100 s

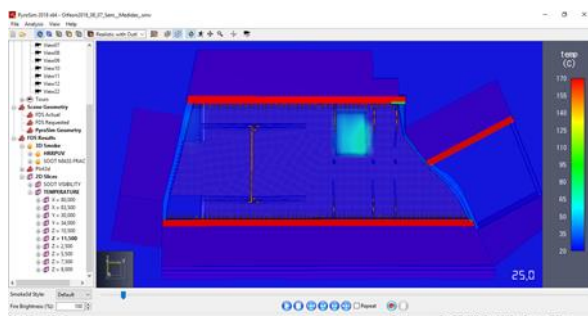


Figura 198 – Plano de temperaturas t = 25 s

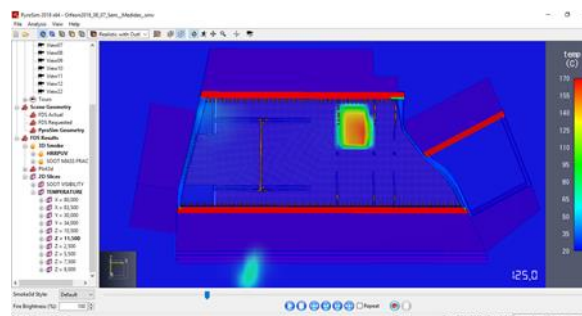


Figura 202 – Plano de temperaturas t = 125 s

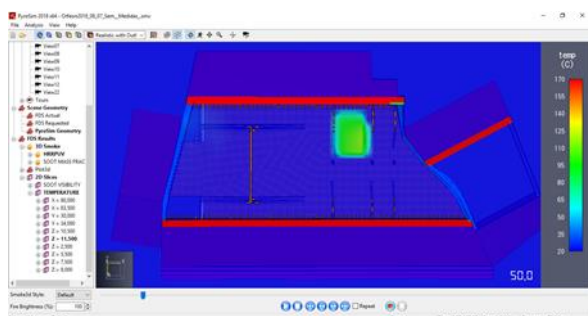


Figura 199 – Plano de temperaturas t = 50 s

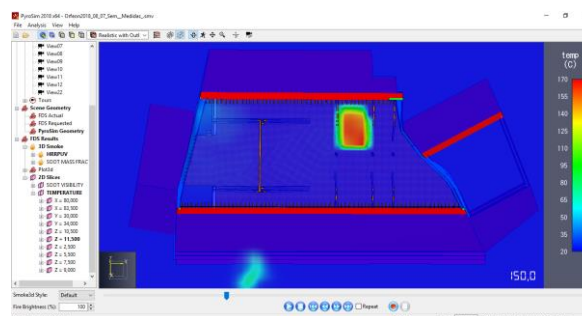


Figura 203 – Plano de temperaturas t = 150 s

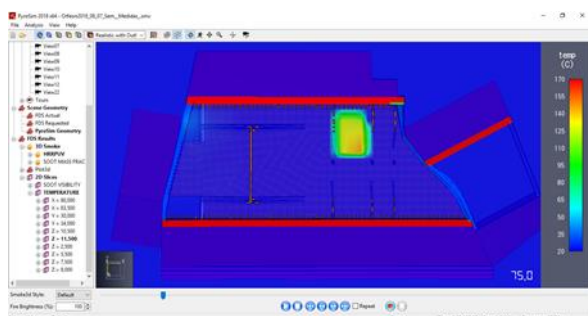


Figura 200 – Plano de temperaturas t = 75 s

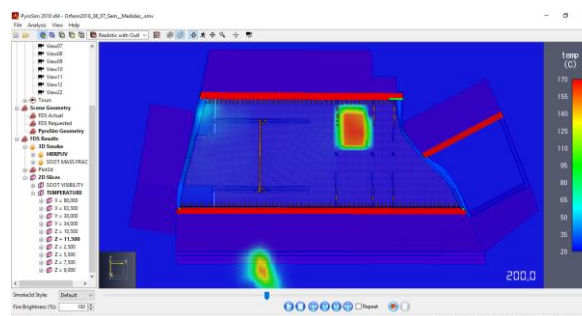
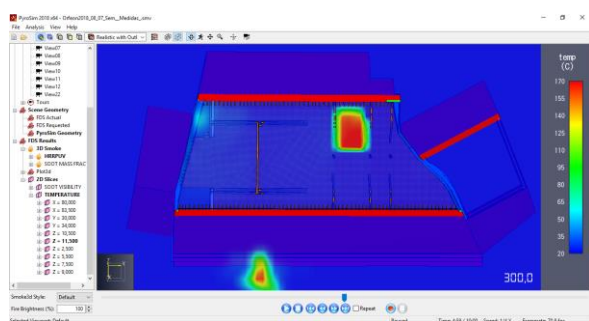
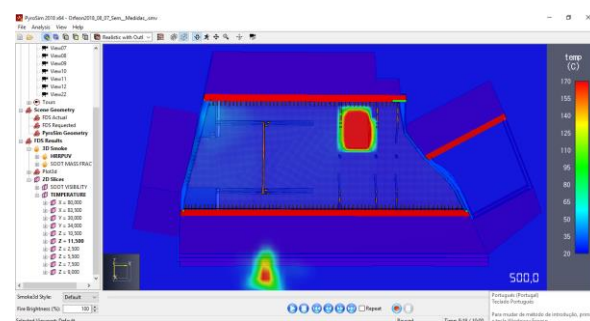
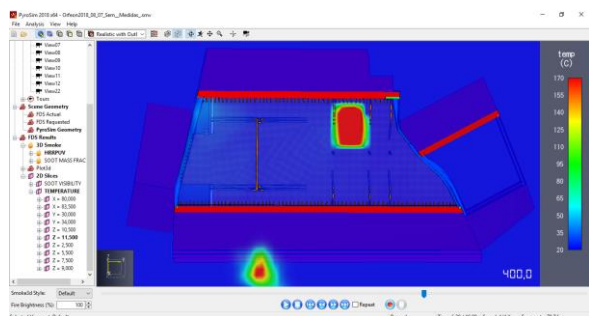
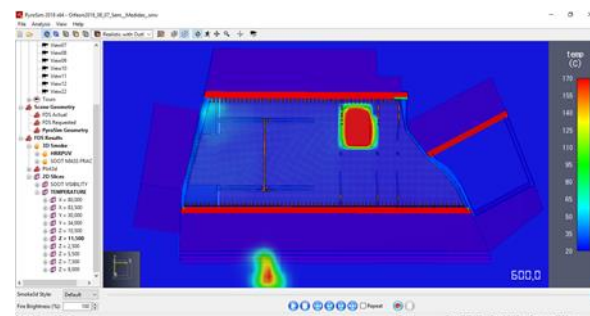
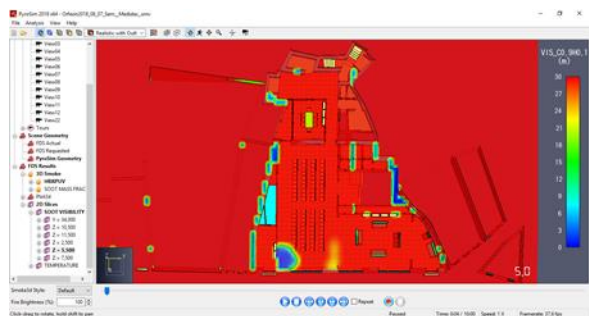
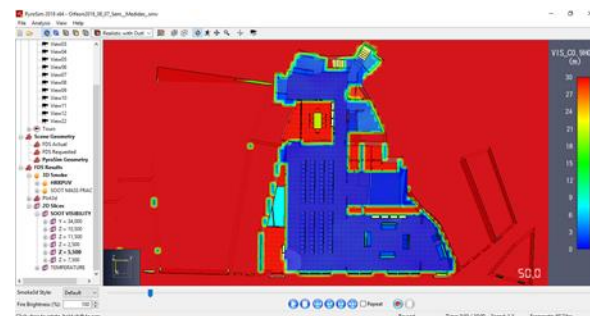
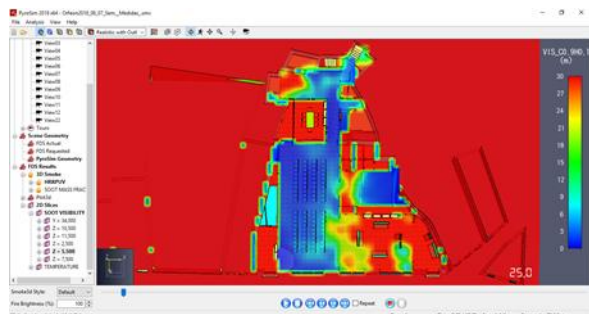
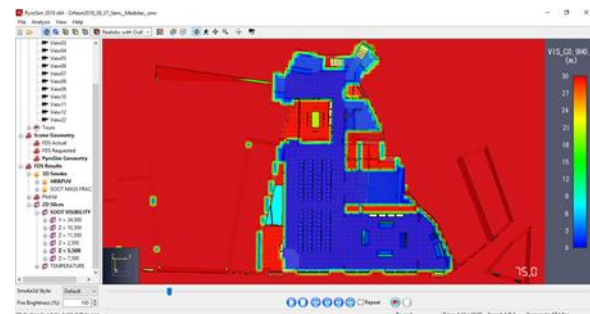


Figura 204 – Plano de temperaturas t = 200 s

Figura 205 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 207 – Plano de temperaturas $t = 500$ sFigura 206 – Plano de temperaturas $t = 400$ sFigura 208 – Plano de temperaturas $t = 600$ s

2.4. Plano de visibilidade – cota 5,50 metros

Figura 209 – Plano de visibilidade $t = 5$ sFigura 211 – Plano de visibilidade $t = 50$ sFigura 210 – Plano de visibilidade $t = 25$ sFigura 212 – Plano de visibilidade $t = 75$ s

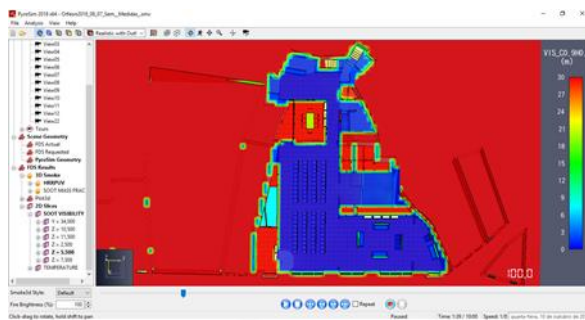


Figura 213 – Plano de visibilidade t = 100 s

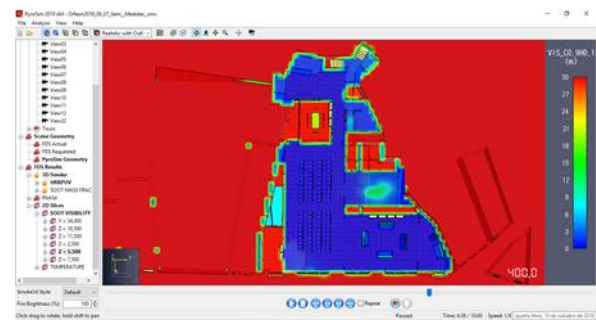


Figura 216 – Plano de visibilidade t = 400 s

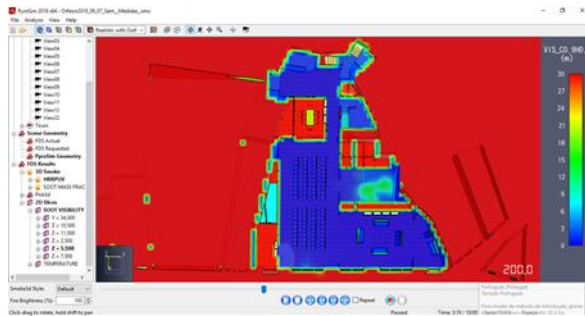


Figura 214 – Plano de visibilidade t = 200 s

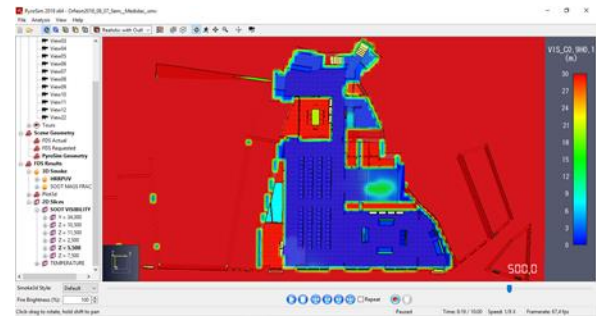


Figura 217 – Plano de visibilidade t = 500 s

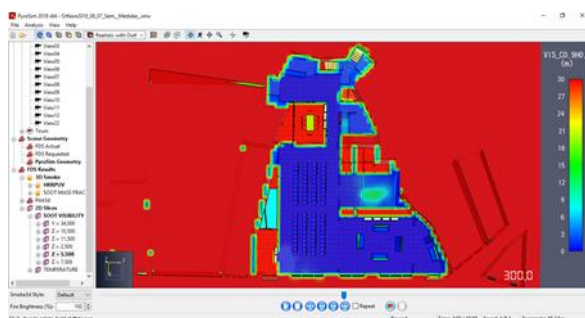


Figura 215 – Plano de visibilidade t = 300 s

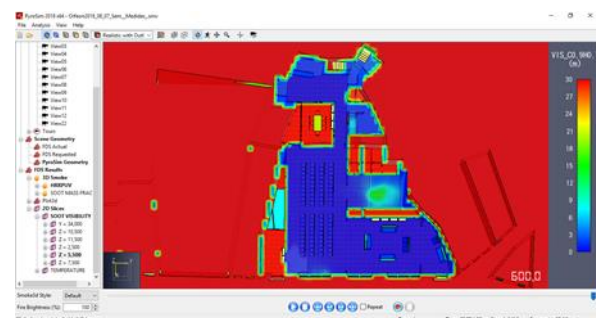


Figura 218 – Plano de visibilidade t = 600 s

2.5. Plano de visibilidade – cota 7,50 metros

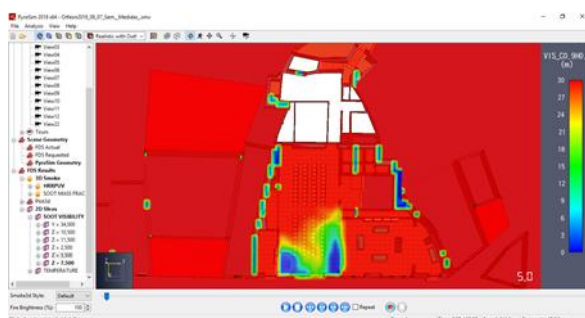


Figura 219 – Plano de visibilidade t = 5 s

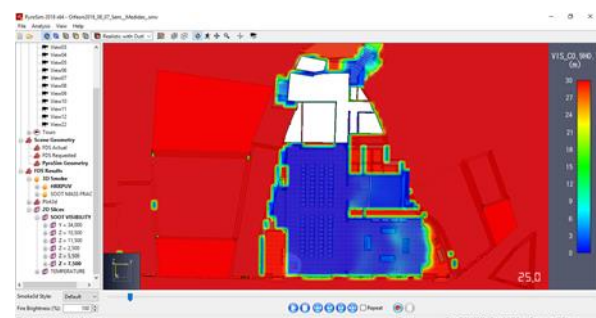


Figura 220 – Plano de visibilidade t = 25 s

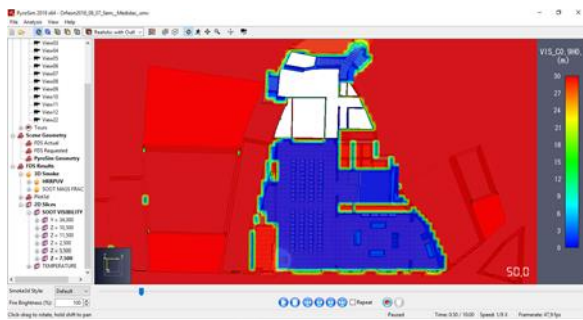


Figura 221 – Plano de visibilidade t = 50 s

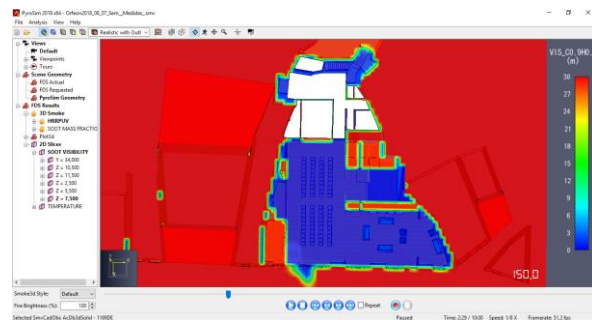


Figura 225 – Plano de visibilidade t = 150 s

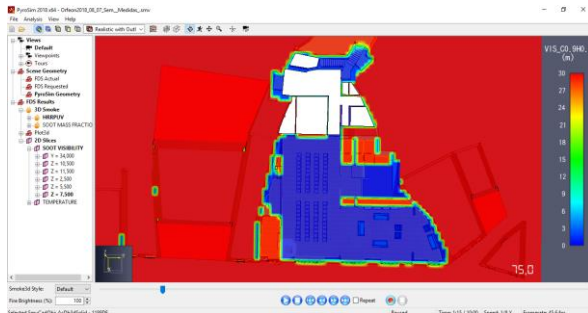


Figura 222 – Plano de visibilidade t = 75 s

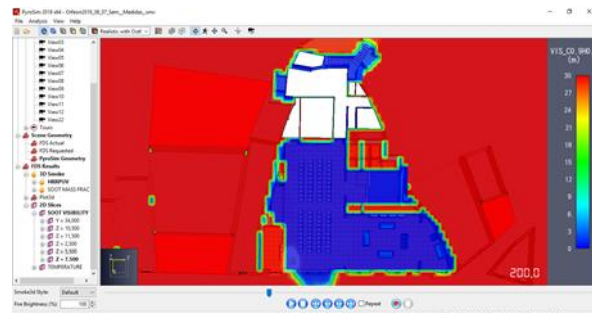


Figura 226 – Plano de visibilidade t = 200 s

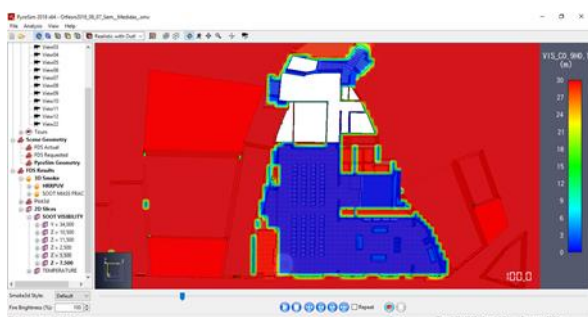


Figura 223 – Plano de visibilidade t = 100 s

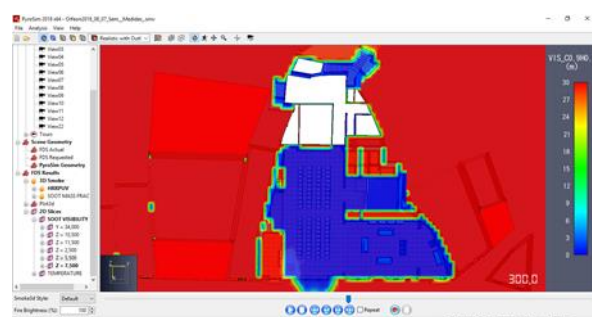


Figura 227 – Plano de visibilidade t = 300 s

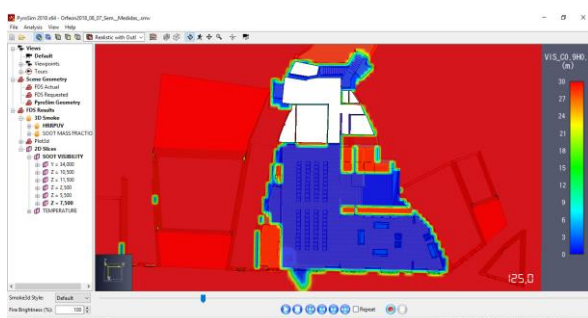


Figura 224 – Plano de visibilidade t = 125 s

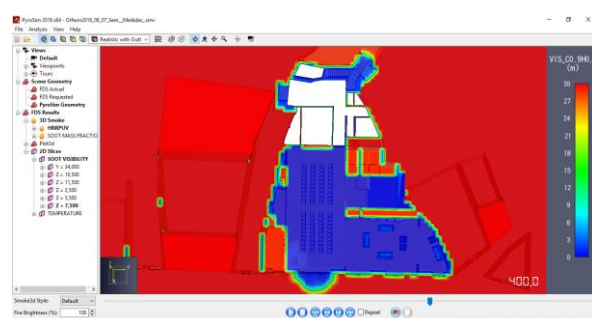
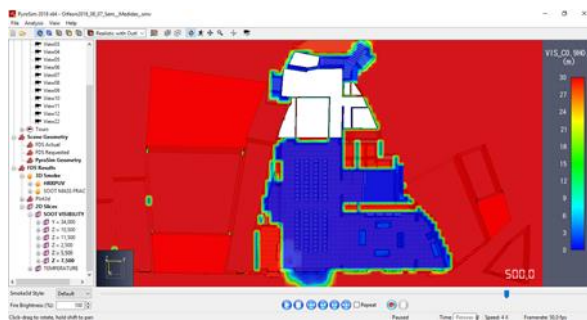
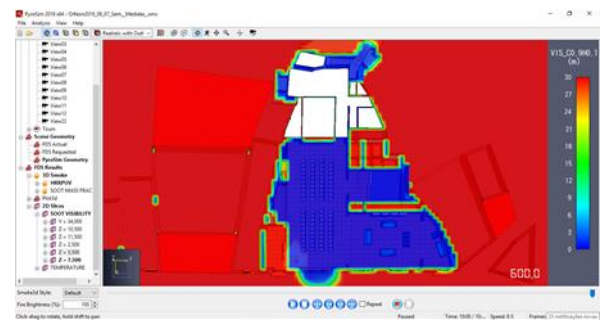
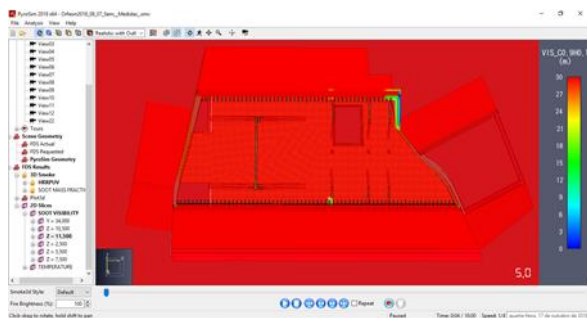
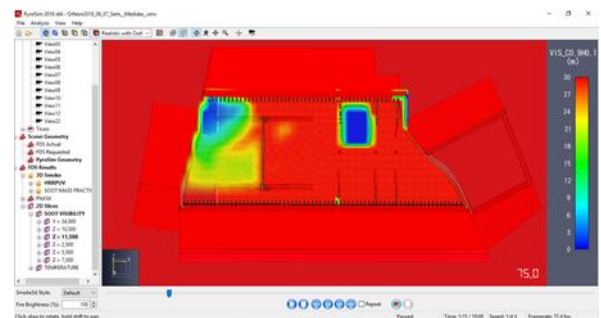
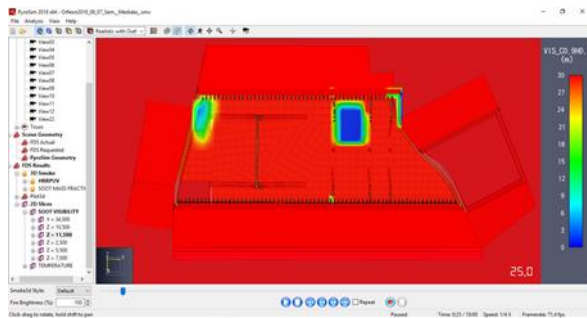
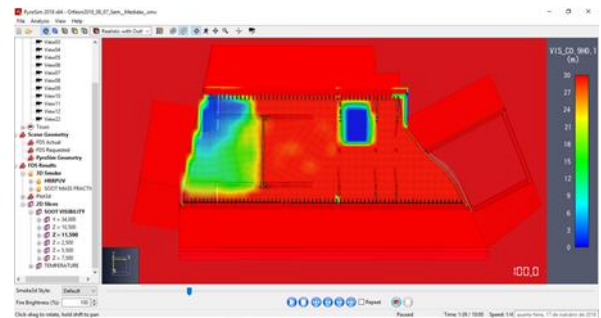
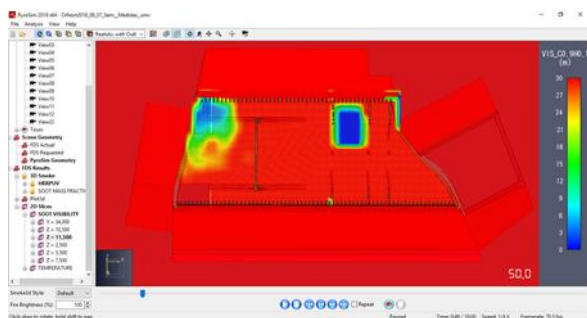
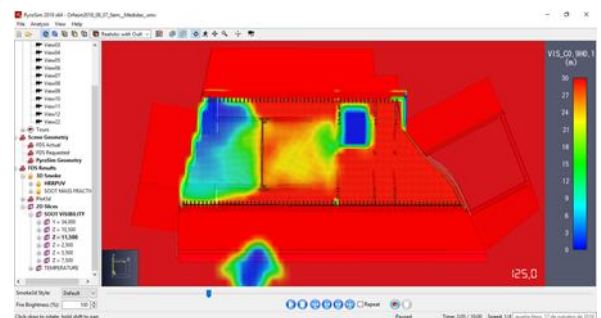


Figura 228 – Plano de visibilidade t = 400 s

Figura 229 – Plano de visibilidade $t = 500$ sFigura 230 – Plano de visibilidade $t = 600$ s

2.6. Plano de visibilidade – cota 11,50 metros

Figura 231 – Plano de visibilidade $t = 5$ sFigura 234 – Plano de visibilidade $t = 75$ sFigura 232 – Plano de visibilidade $t = 25$ sFigura 235 – Plano de visibilidade $t = 100$ sFigura 233 – Plano de visibilidade $t = 50$ sFigura 236 – Plano de visibilidade $t = 125$ s

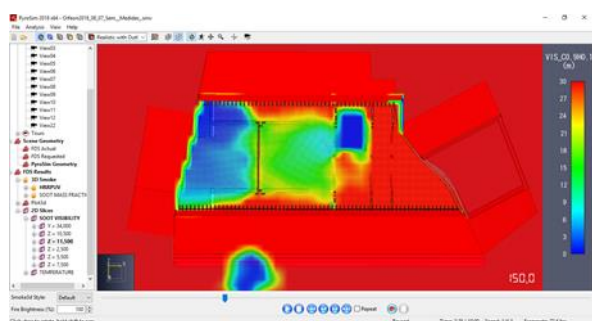


Figura 237 – Plano de visibilidade t = 150 s

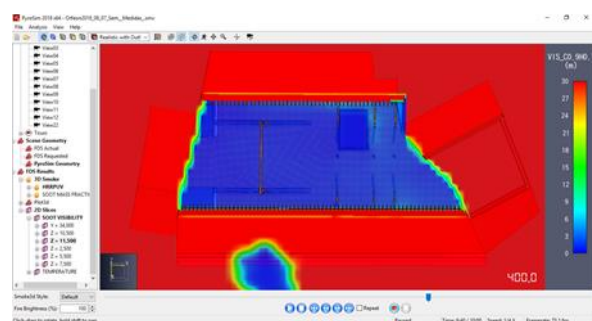


Figura 240 – Plano de visibilidade t = 400 s

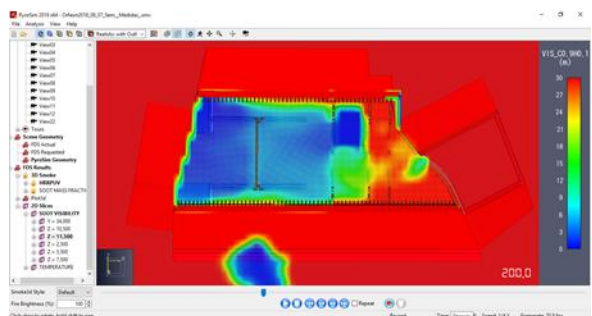


Figura 238 – Plano de visibilidade t = 200 s

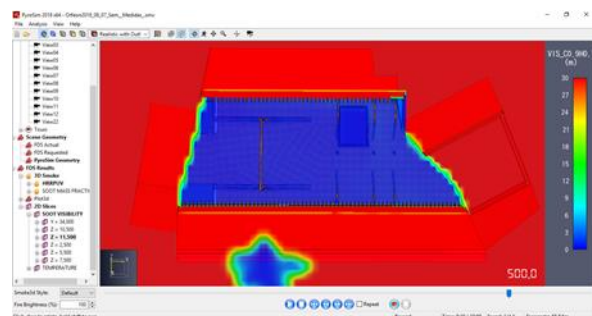


Figura 241 – Plano de visibilidade t = 500 s

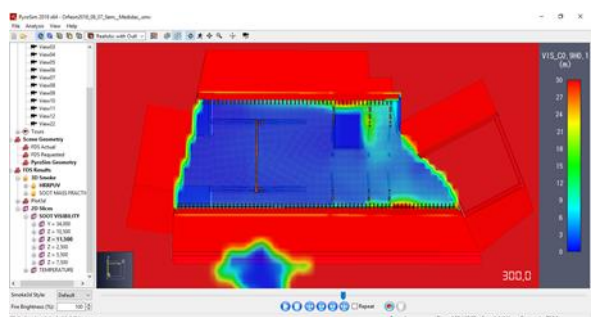


Figura 239 – Plano de visibilidade t = 300 s

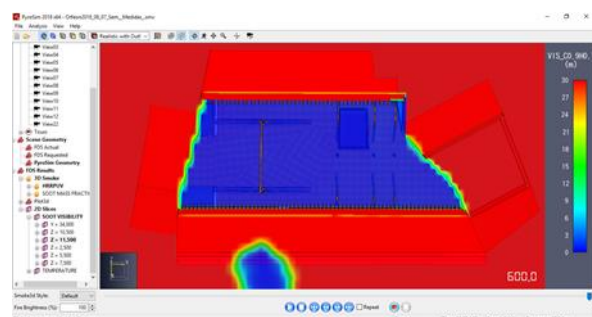


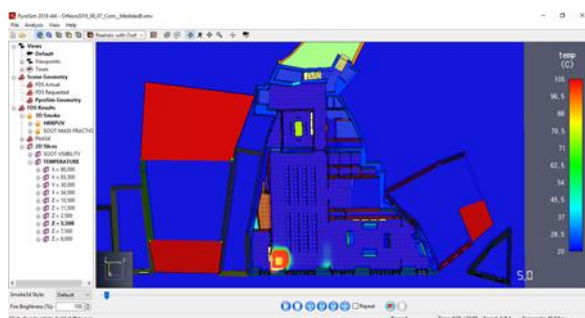
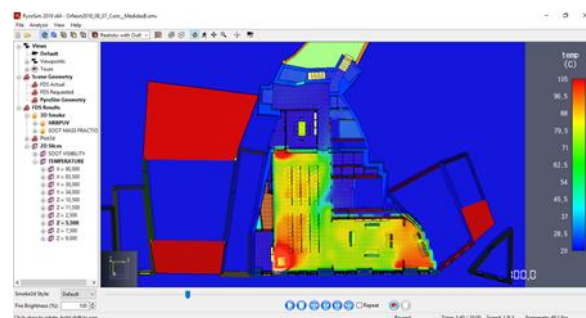
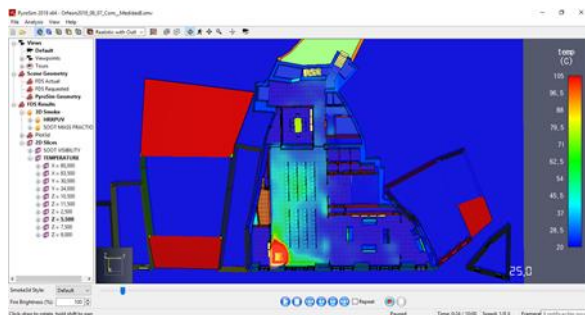
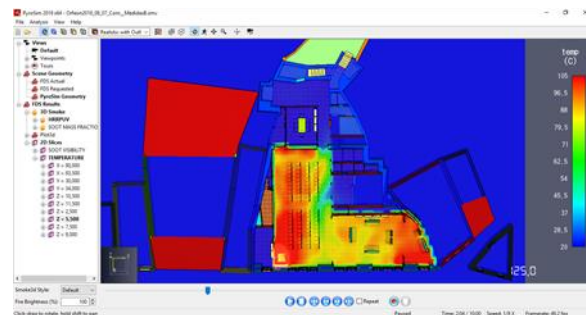
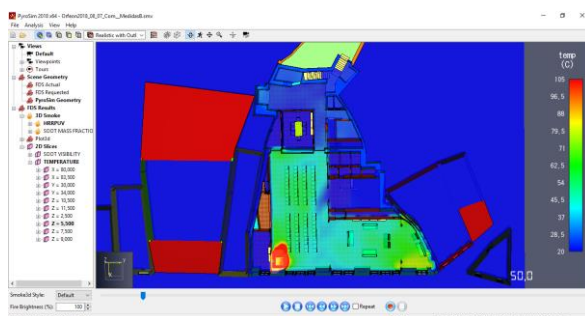
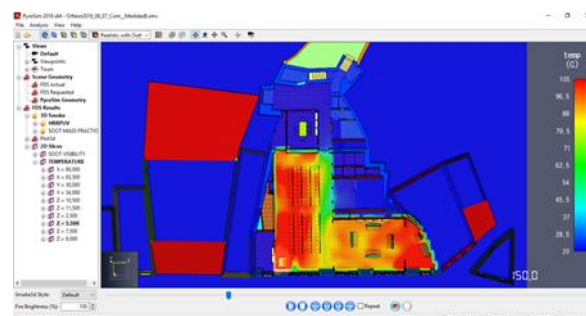
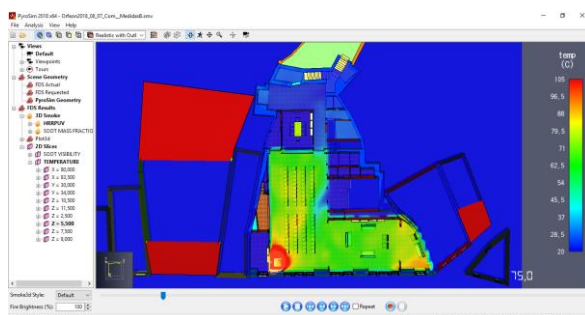
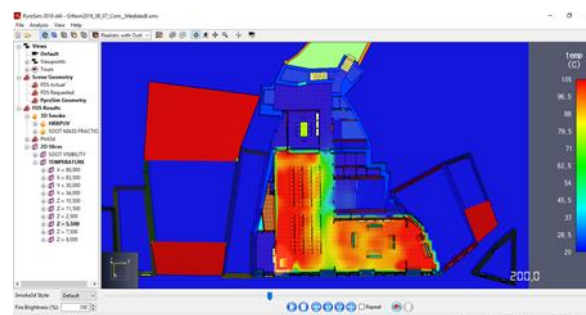
Figura 242 – Plano de visibilidade t = 600 s

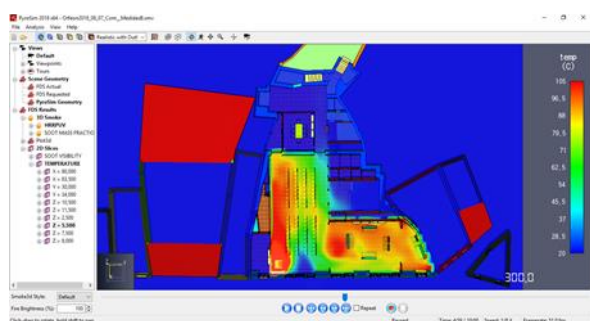
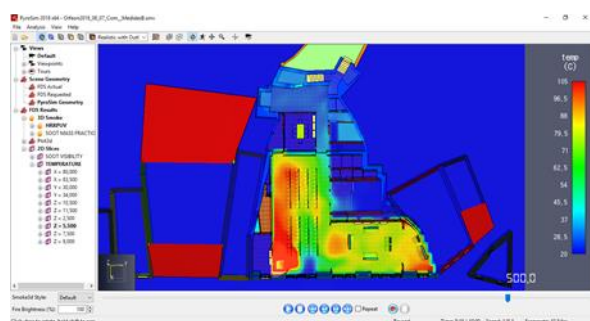
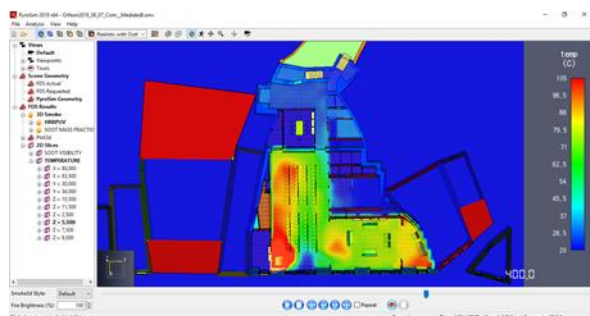
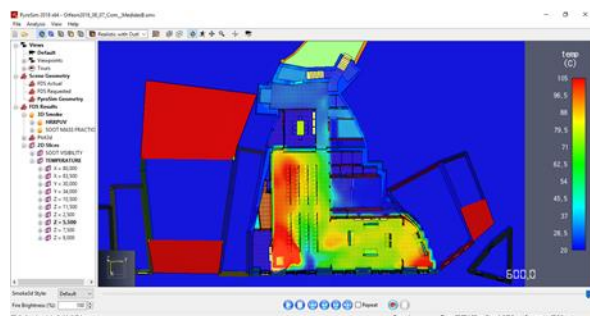
3. Modelo B – Evolução das temperaturas e distâncias de visibilidade

3.1. Plano de temperaturas – cota 5,50 metros

Nota 6 - Cota Piso 1: 4,80 metros

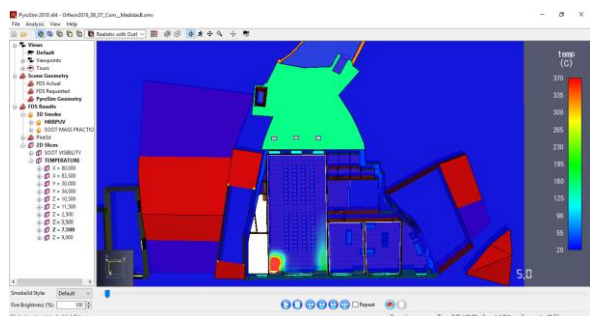
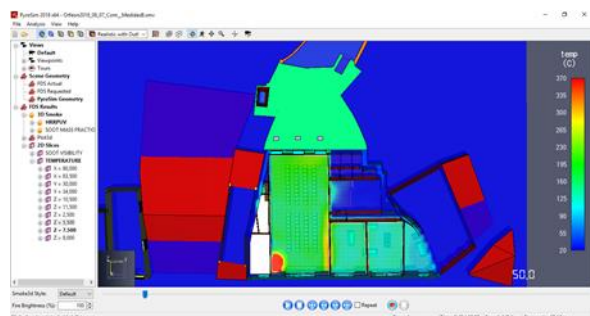
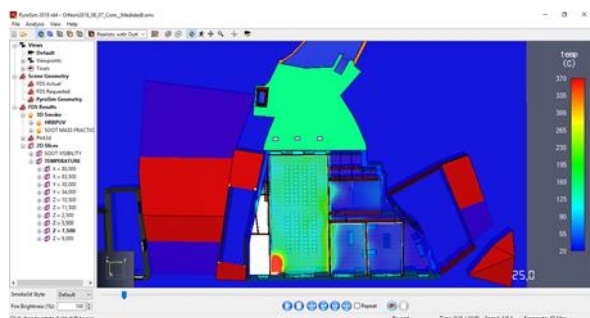
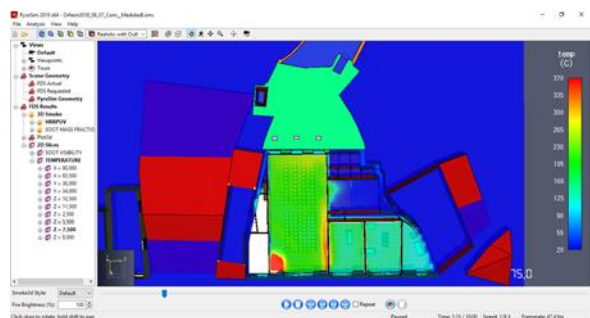
Nota 7 - Temperatura máxima atingida: 105 °C

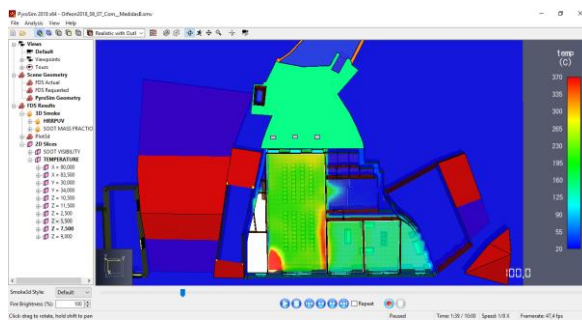
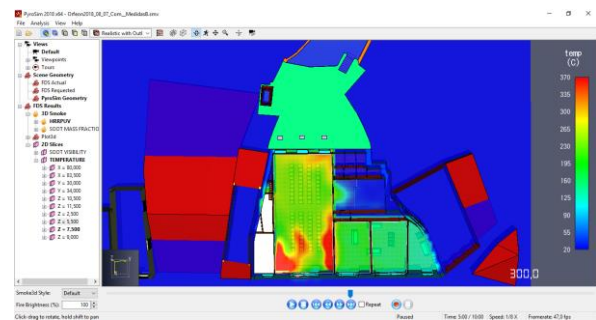
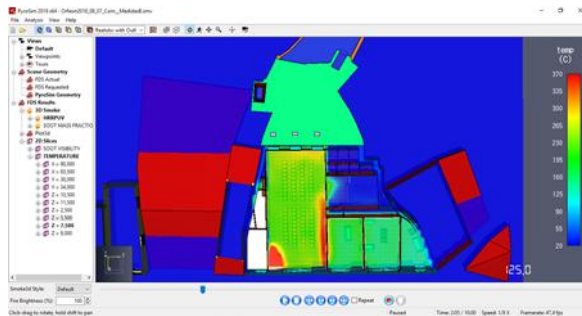
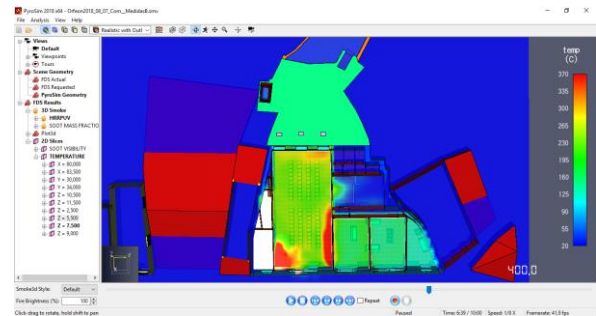
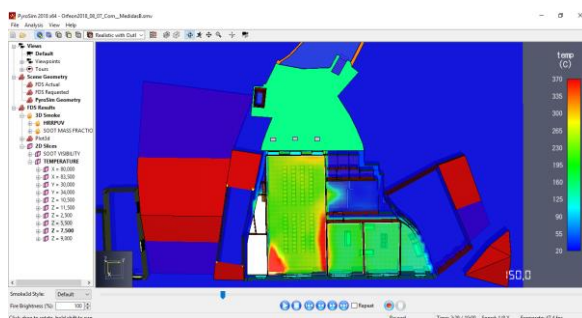
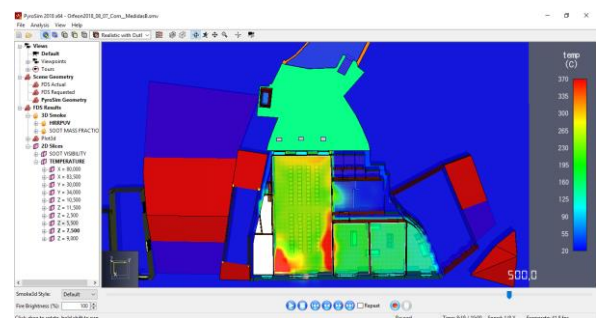
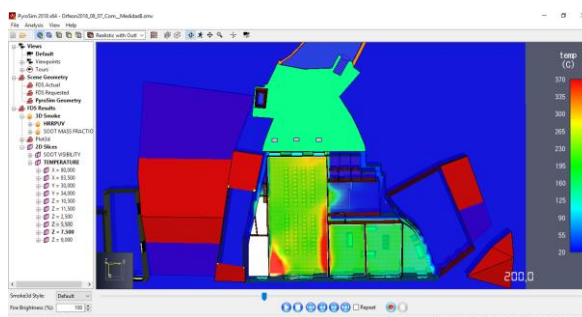
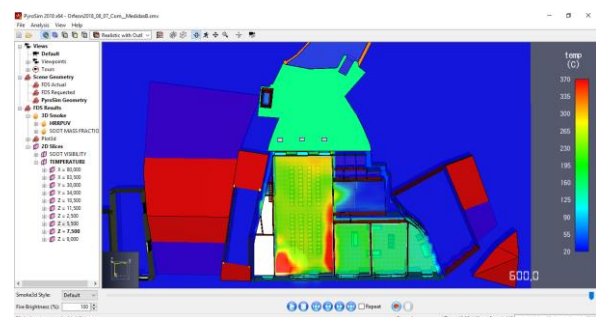
Figura 243 – Plano de temperaturas $t = 5$ sFigura 247 – Plano de temperaturas $t = 100$ sFigura 244 – Plano de temperaturas $t = 25$ sFigura 248 – Plano de temperaturas $t = 125$ sFigura 245 – Plano de temperaturas $t = 50$ sFigura 249 – Plano de temperaturas $t = 150$ sFigura 246 – Plano de temperaturas $t = 75$ sFigura 250 – Plano de temperaturas $t = 200$ s

Figura 251 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 253 – Plano de temperaturas $t = 500$ sFigura 252 – Plano de temperaturas $t = 400$ sFigura 254 – Plano de temperaturas $t = 600$ s

3.2. Plano de temperaturas – cota 7,50 metros

Nota 8 - Temperatura máxima atingida: 370 °C

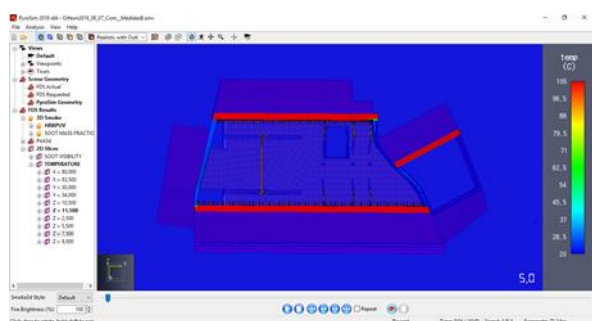
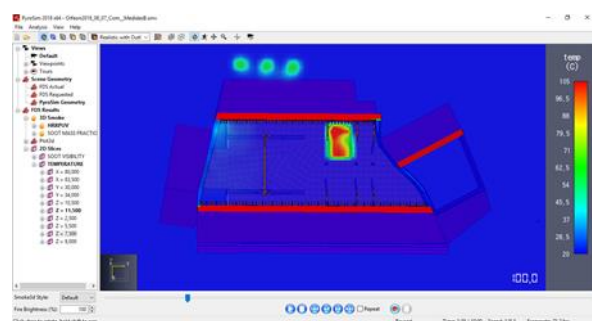
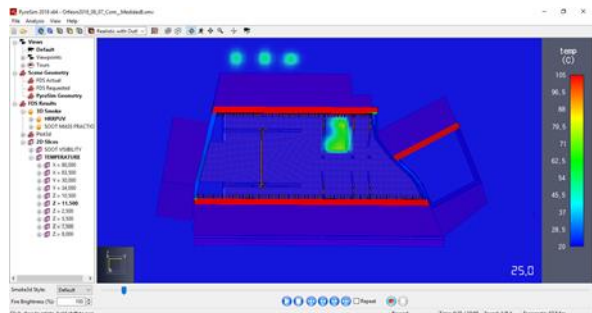
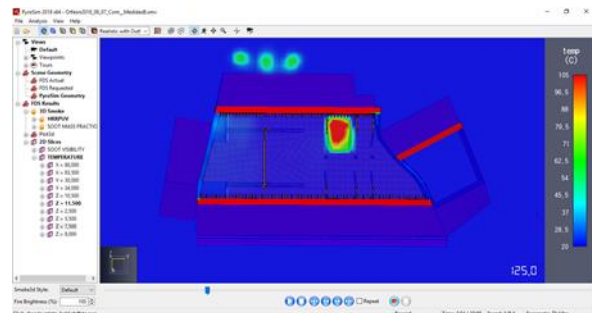
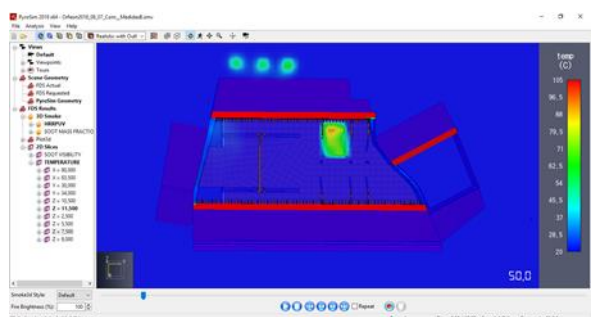
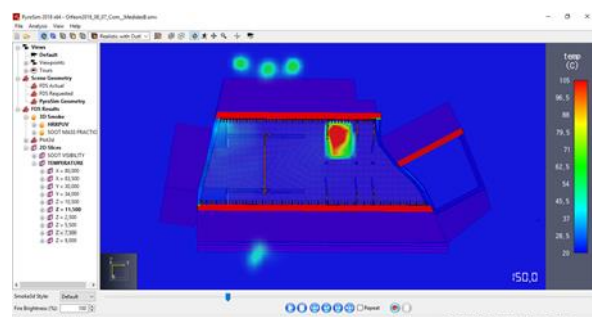
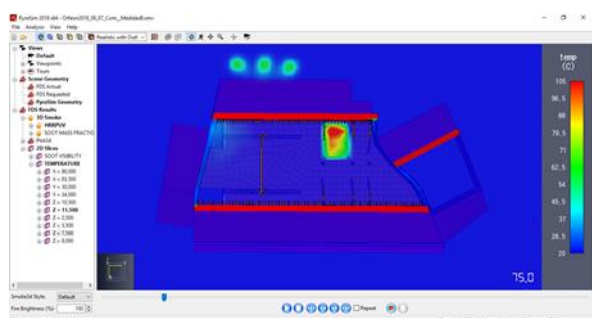
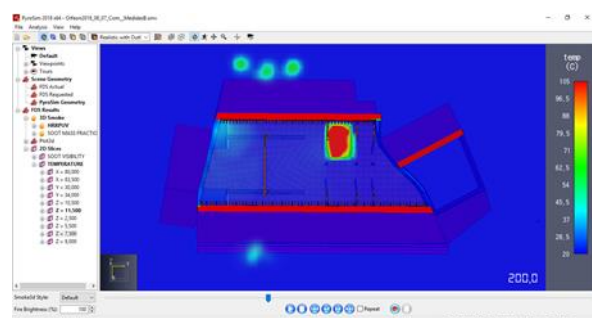
Figura 255 – Plano de temperaturas $t = 5$ sFigura 257 – Plano de temperaturas $t = 50$ sFigura 256 – Plano de temperaturas $t = 25$ sFigura 258 – Plano de temperaturas $t = 75$ s

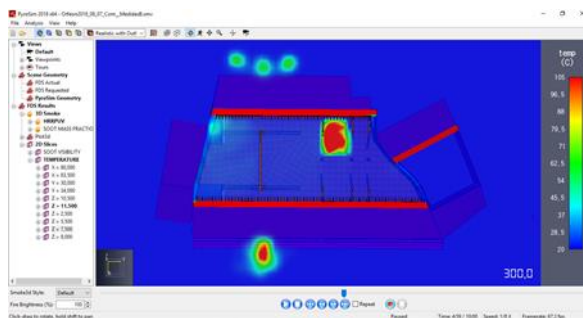
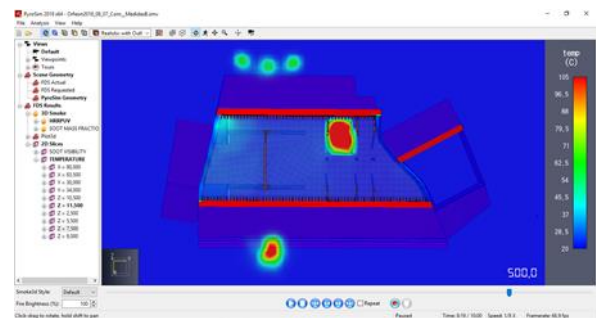
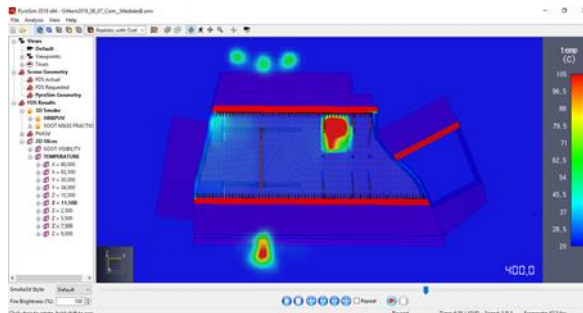
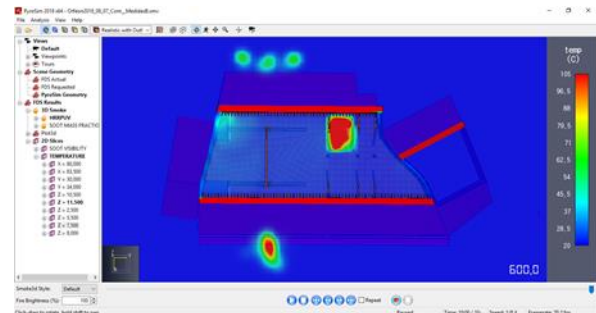
Figura 259 – Plano de temperaturas $t = 100$ sFigura 263 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 260 – Plano de temperaturas $t = 125$ sFigura 264 – Plano de temperaturas $t = 400$ sFigura 261 – Plano de temperaturas $t = 150$ sFigura 265 – Plano de temperaturas $t = 500$ sFigura 262 – Plano de temperaturas $t = 200$ sFigura 266 – Plano de temperaturas $t = 600$ s

3.3. Plano de temperaturas – cota 11,50 metros

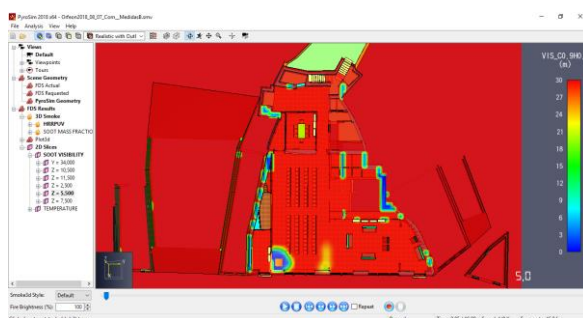
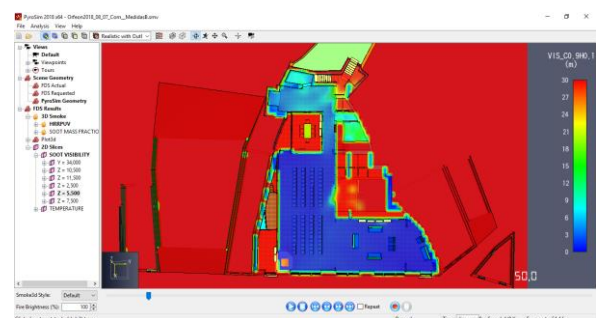
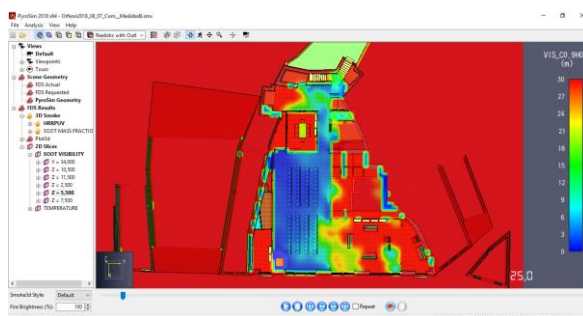
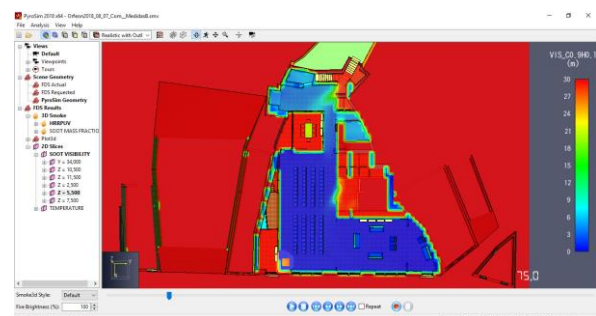
Nota 9 - Cota Piso Sótão: 10,20 metros

Nota 10 - Temperatura máxima atingida: 105 °C

Figura 267 – Plano de temperaturas $t = 5$ sFigura 271 – Plano de temperaturas $t = 100$ sFigura 268 – Plano de temperaturas $t = 25$ sFigura 272 – Plano de temperaturas $t = 125$ sFigura 269 – Plano de temperaturas $t = 50$ sFigura 273 – Plano de temperaturas $t = 150$ sFigura 270 – Plano de temperaturas $t = 75$ sFigura 274 – Plano de temperaturas $t = 200$ s

Figura 275 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 277 – Plano de temperaturas $t = 500$ sFigura 276 – Plano de temperaturas $t = 400$ sFigura 278 – Plano de temperaturas $t = 600$ s

3.4. Plano de visibilidade – cota 5,50 metros

Figura 279 – Plano de visibilidade $t = 5$ sFigura 281 – Plano de visibilidade $t = 50$ sFigura 280 – Plano de visibilidade $t = 25$ sFigura 282 – Plano de visibilidade $t = 75$ s

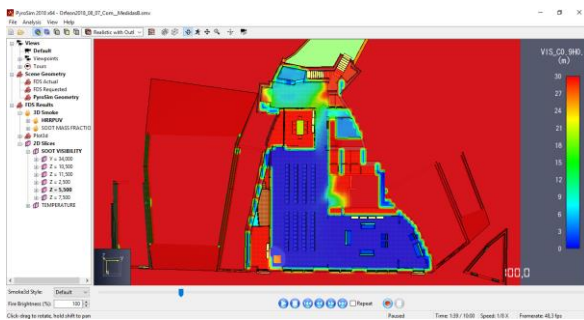


Figura 283 – Plano de visibilidade t = 100 s

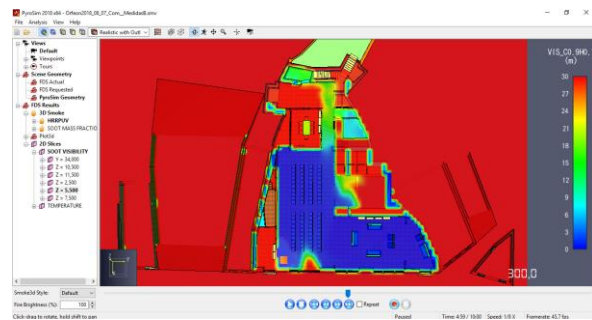


Figura 287 – Plano de visibilidade t = 300 s

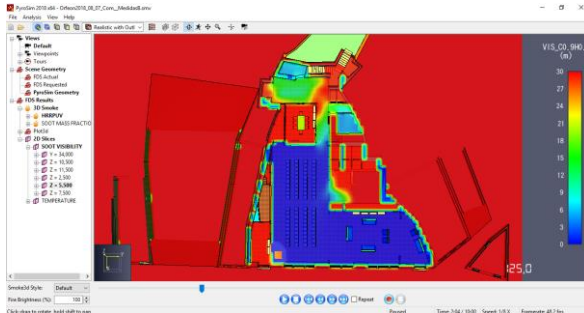


Figura 284 – Plano de visibilidade t = 125 s

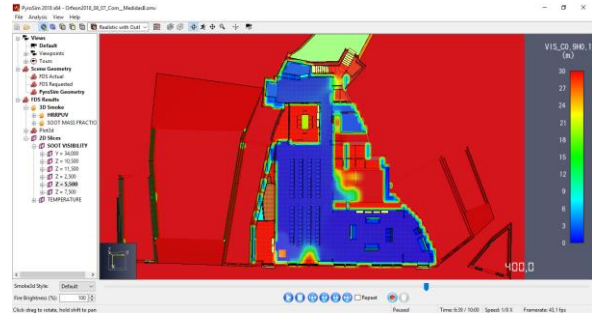


Figura 288 – Plano de visibilidade t = 400 s

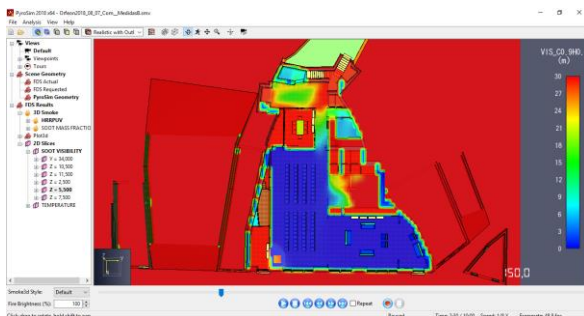


Figura 285 – Plano de visibilidade t = 150 s

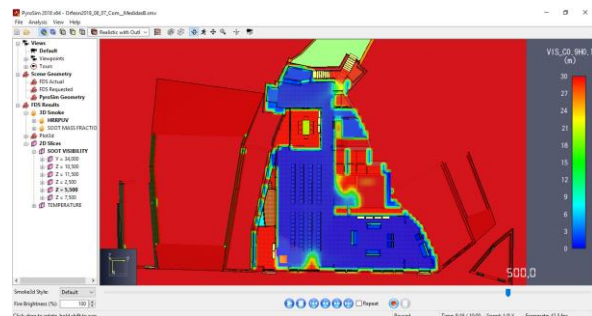


Figura 289 – Plano de visibilidade t = 500 s

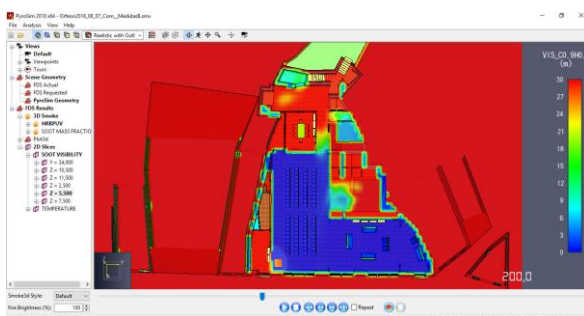


Figura 286 – Plano de visibilidade t = 200 s

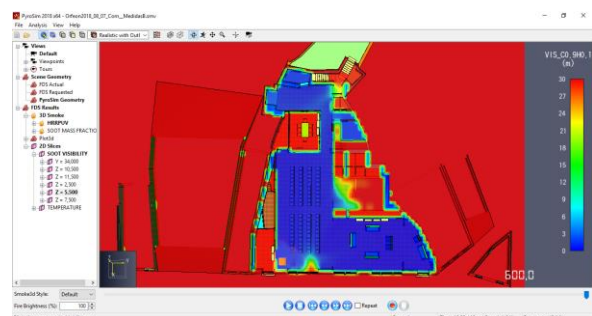


Figura 290 – Plano de visibilidade t = 600 s

3.5. Plano de visibilidade – cota 7,50 metros

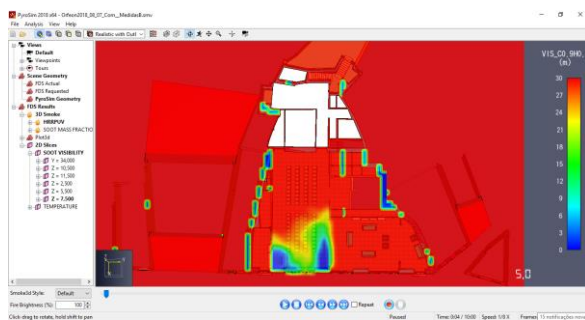


Figura 291 – Plano de visibilidade t = 5 s

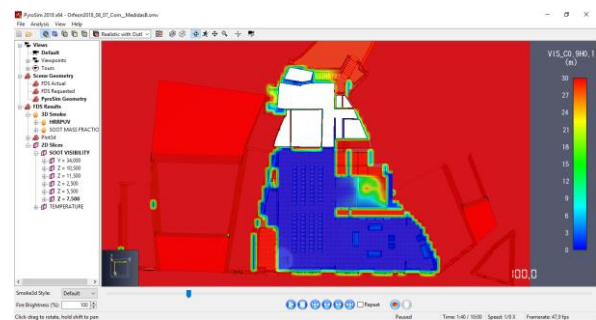


Figura 295 – Plano de visibilidade t = 100 s

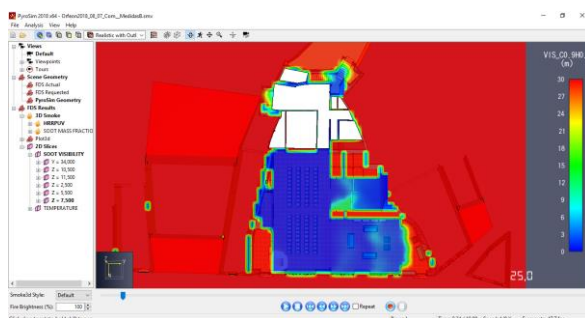


Figura 292 – Plano de visibilidade t = 25 s

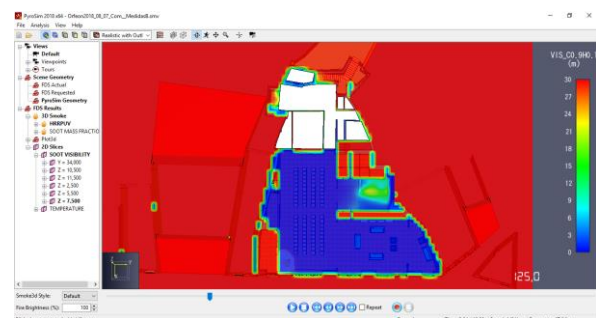


Figura 296 – Plano de visibilidade t = 125 s

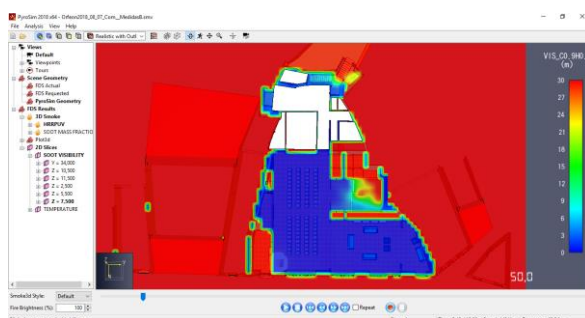


Figura 293 – Plano de visibilidade t = 50 s

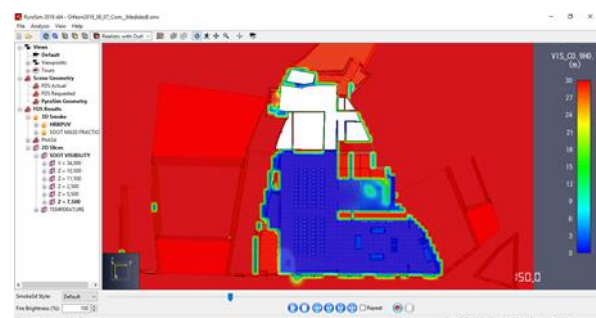


Figura 297 – Plano de visibilidade t = 150 s

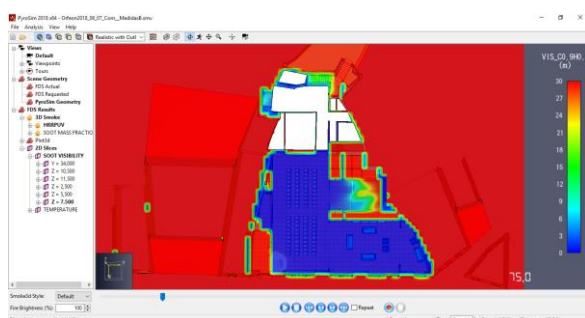


Figura 294 – Plano de visibilidade t = 75 s

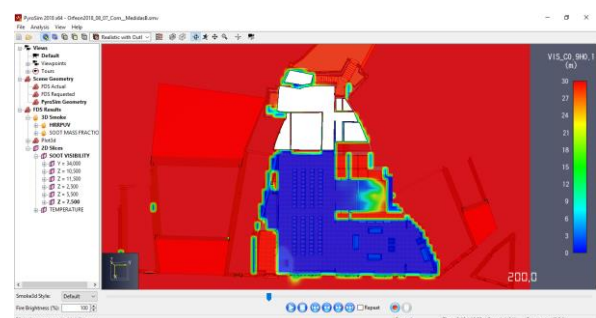


Figura 298 – Plano de visibilidade t = 200 s

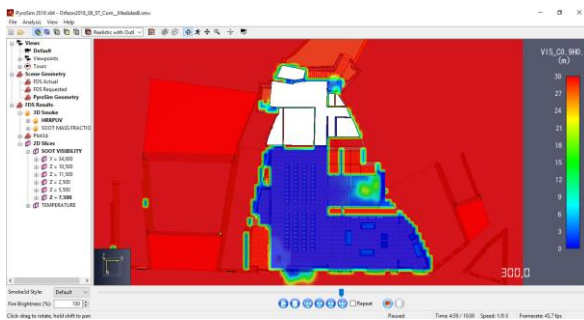


Figura 299 – Plano de visibilidade t = 300 s

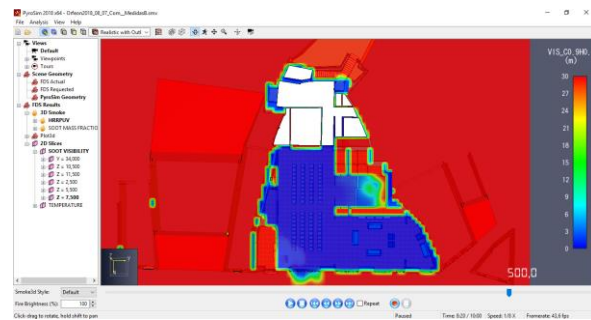


Figura 301 – Plano de visibilidade t = 500 s

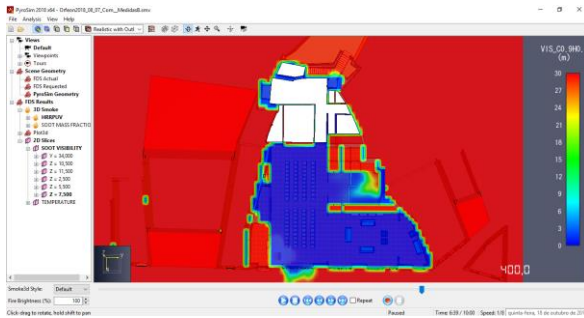


Figura 300 – Plano de visibilidade t = 400 s

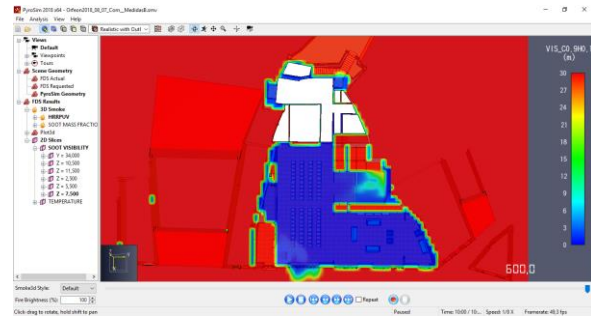


Figura 302 – Plano de visibilidade t = 600 s

3.6. Plano de visibilidade – cota 11,50 metros

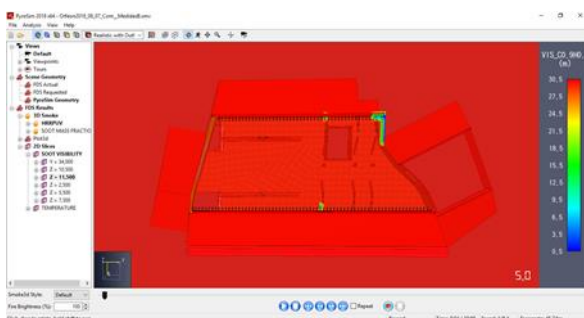


Figura 303 – Plano de visibilidade t = 5 s

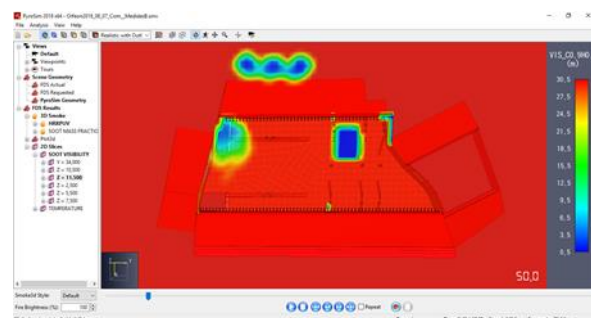


Figura 305 – Plano de visibilidade t = 50 s

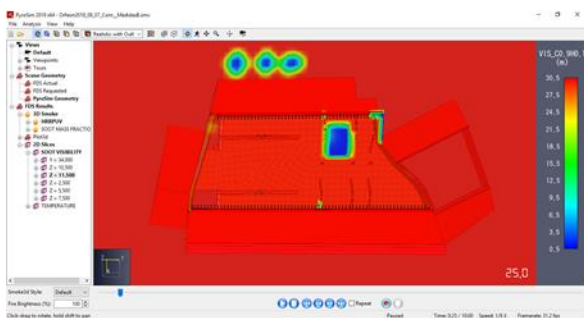


Figura 304 – Plano de visibilidade t = 25 s

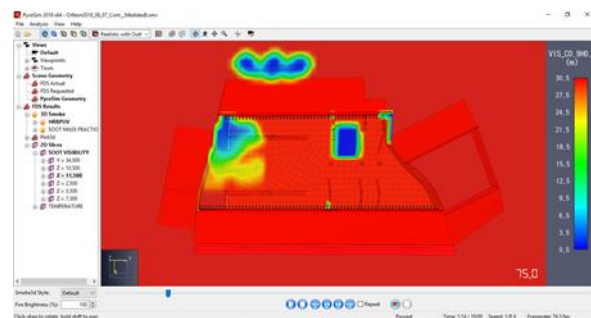


Figura 306 – Plano de visibilidade t = 75 s

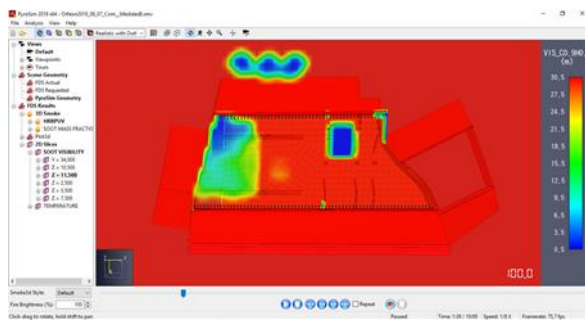


Figura 307 – Plano de visibilidade t = 100 s

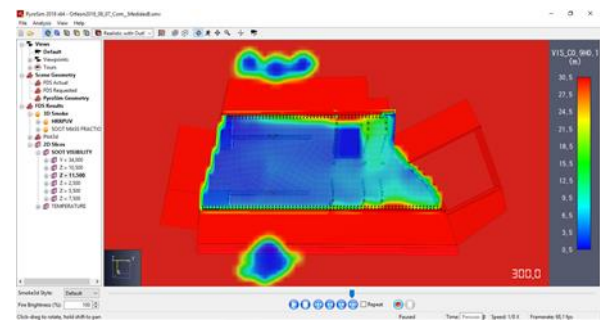


Figura 311 – Plano de visibilidade t = 300 s

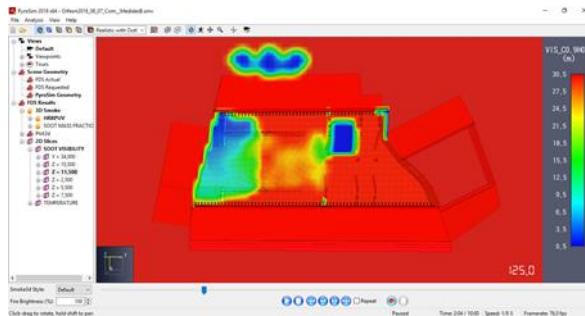


Figura 308 – Plano de visibilidade t = 125 s

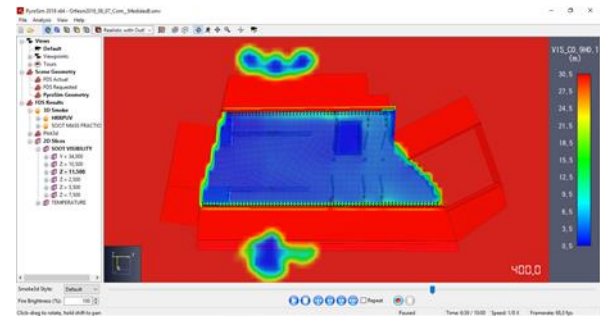


Figura 312 – Plano de visibilidade t = 400 s

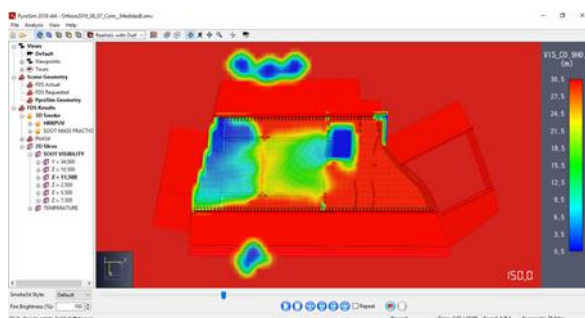


Figura 309 – Plano de visibilidade t = 150 s

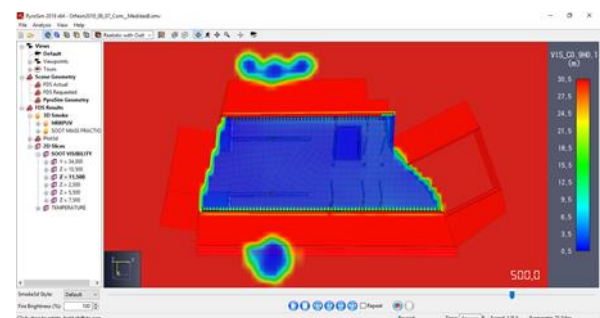


Figura 313 – Plano de visibilidade t = 500 s

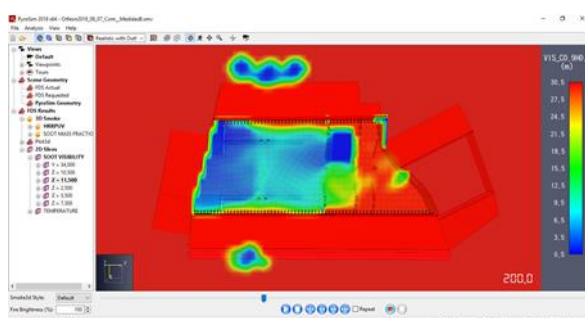


Figura 310 – Plano de visibilidade t = 200 s

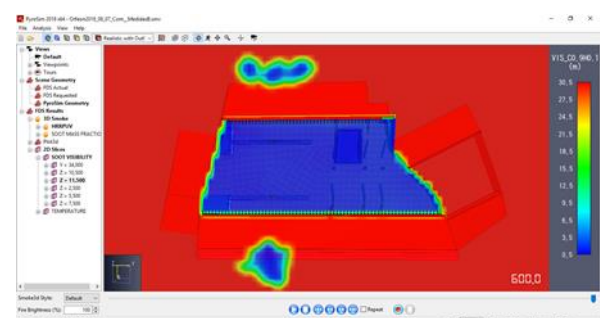


Figura 314 – Plano de visibilidade t = 600 s

4. Modelo C – Evolução das temperaturas e distâncias de visibilidade

4.1. Plano de temperaturas – cota 5,50 metros

Nota 10 - Cota Piso 1: 4,80 metros

Nota 11 - Temperatura máxima atingida: 65 °C

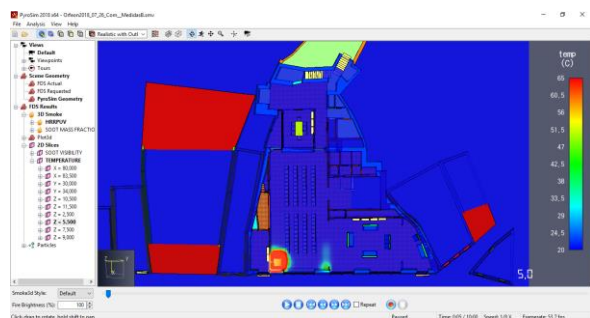


Figura 315 – Plano de temperaturas $t = 5$ s

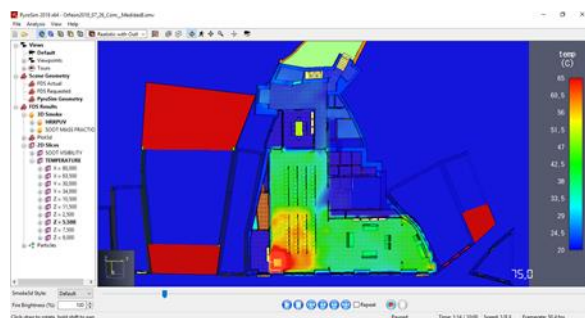


Figura 318 – Plano de temperaturas $t = 75$ s

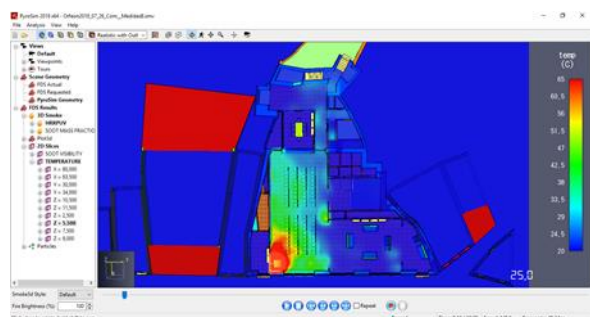


Figura 316 – Plano de temperaturas $t = 25$ s

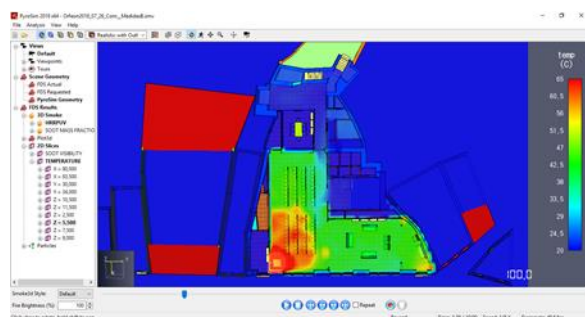


Figura 319 – Plano de temperaturas $t = 100$ s

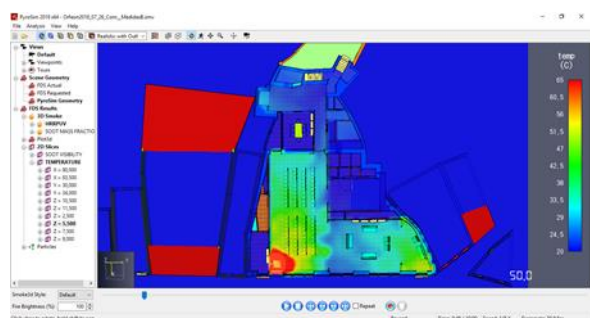


Figura 317 – Plano de temperaturas $t = 50$ s

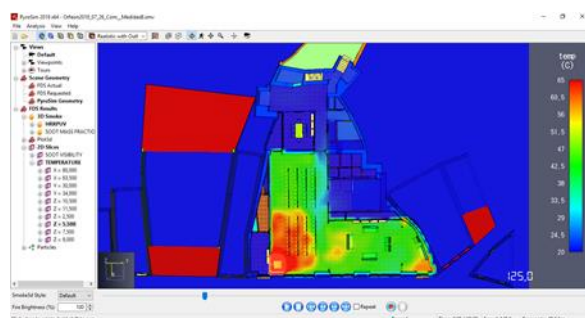
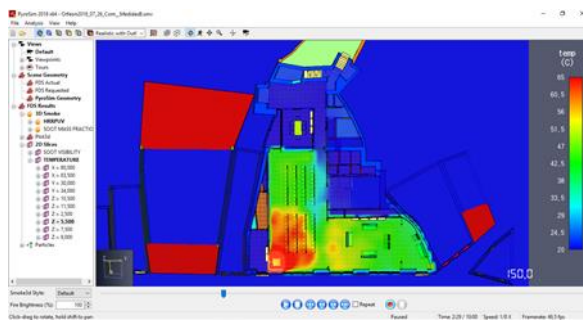
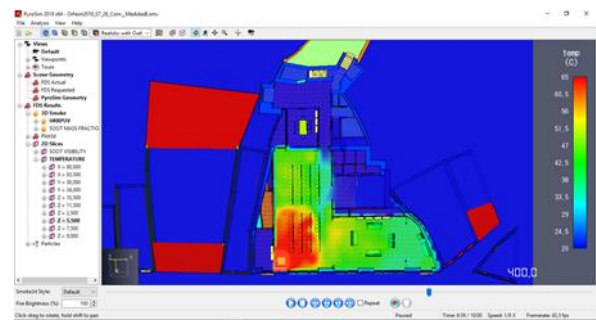
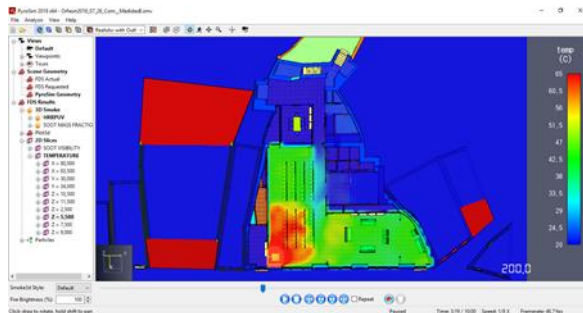
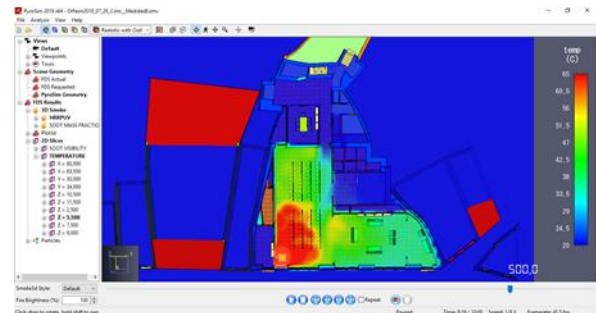
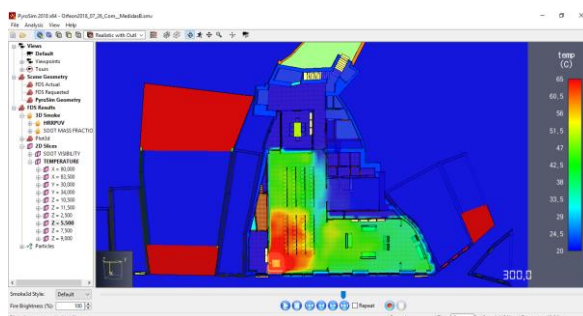
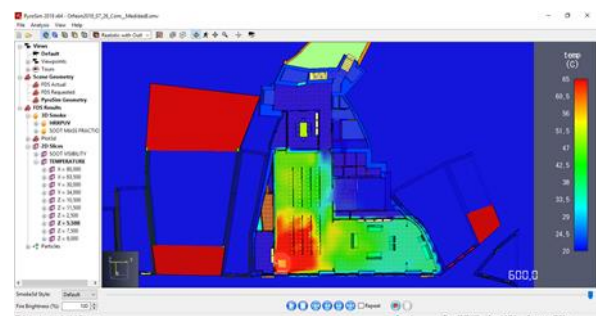
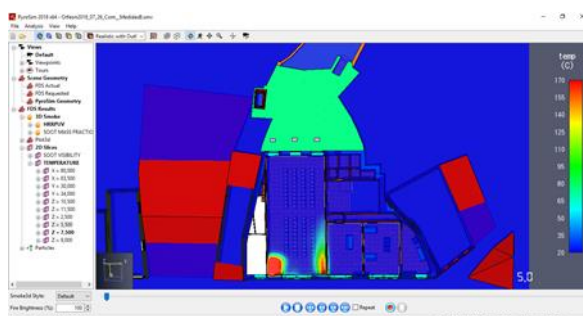
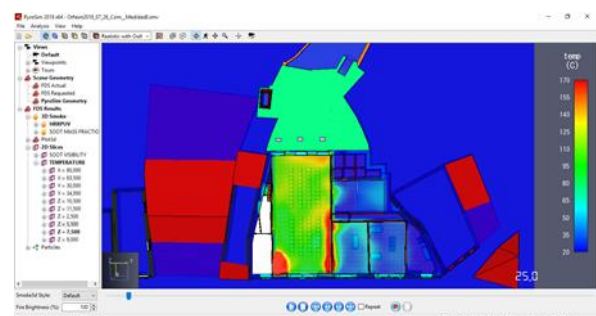


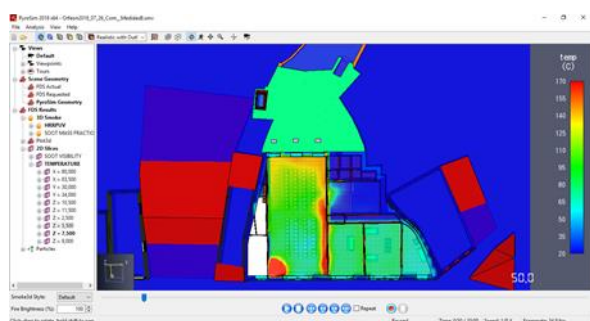
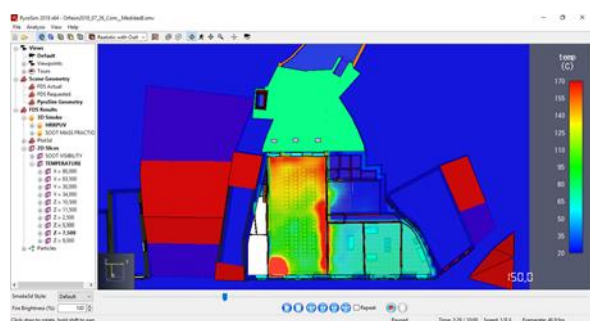
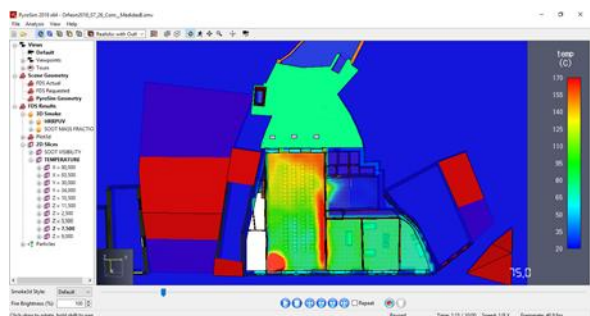
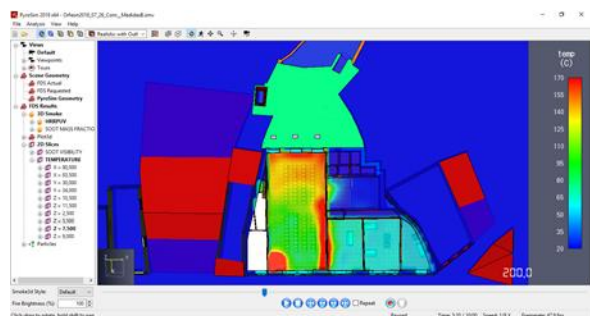
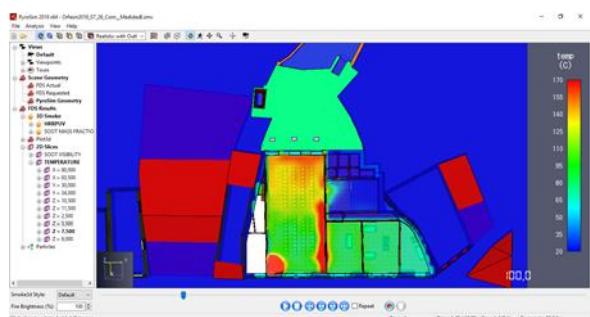
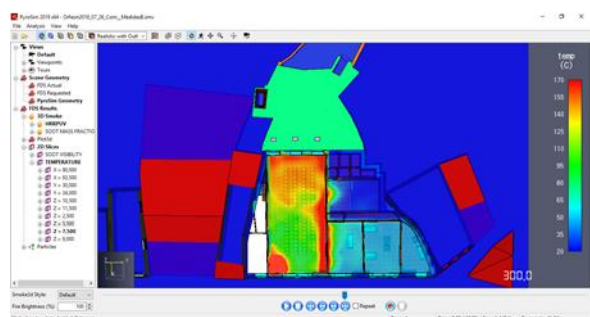
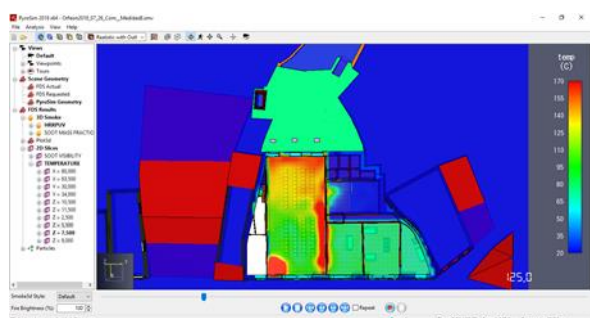
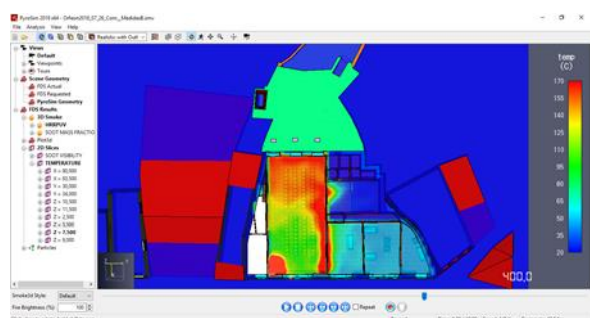
Figura 320 – Plano de temperaturas $t = 125$ s

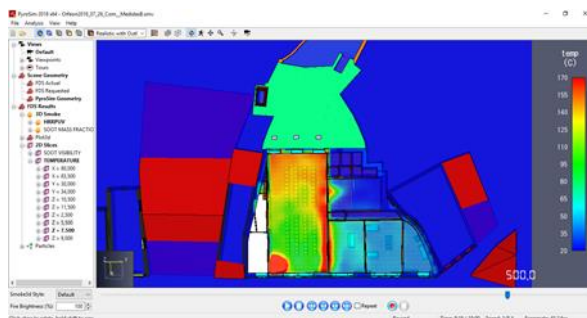
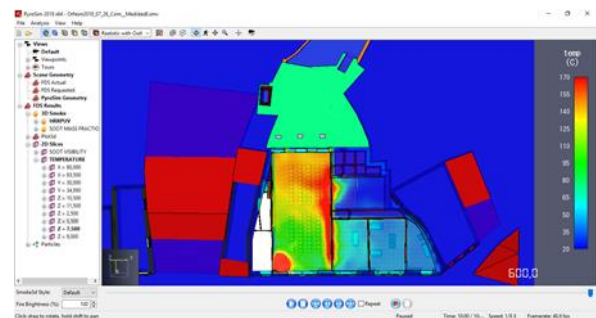
Figura 321 – Plano de temperaturas $t = 150$ sFigura 324 – Plano de temperaturas $t = 400$ sFigura 322 – Plano de temperaturas $t = 200$ sFigura 325 – Plano de temperaturas $t = 500$ sFigura 323 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 326 – Plano de temperaturas $t = 600$ s

4.2. Plano de temperaturas – cota 7,50 metros

Nota 12 - Temperatura máxima atingida: 170 °C

Figura 327 – Plano de temperaturas $t = 5$ sFigura 328 – Plano de temperaturas $t = 25$ s

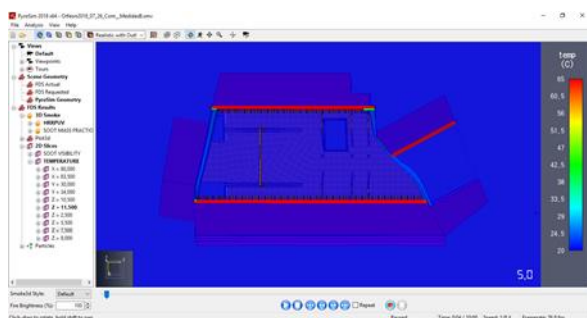
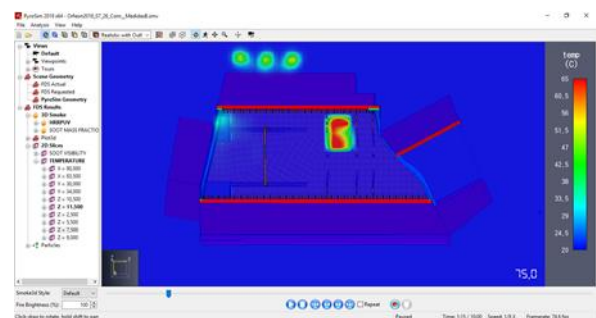
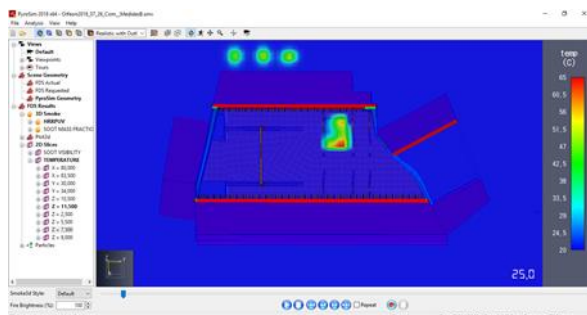
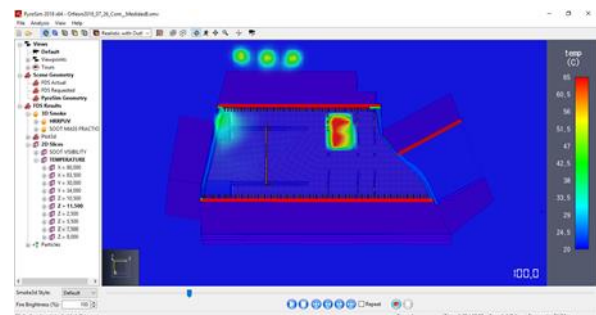
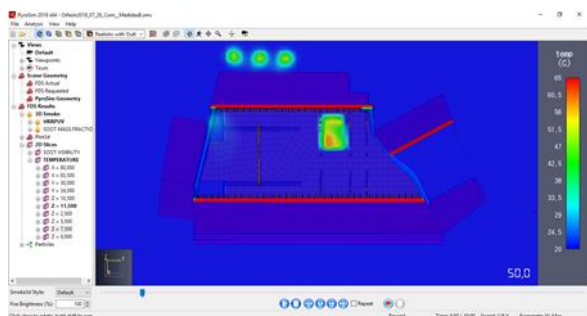
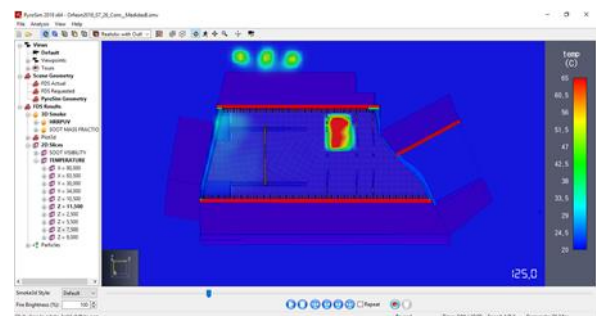
Figura 329 – Plano de temperaturas $t = 50$ sFigura 333 – Plano de temperaturas $t = 150$ sFigura 330 – Plano de temperaturas $t = 75$ sFigura 334 – Plano de temperaturas $t = 200$ sFigura 331 – Plano de temperaturas $t = 100$ sFigura 335 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 332 – Plano de temperaturas $t = 125$ sFigura 336 – Plano de temperaturas $t = 400$ s

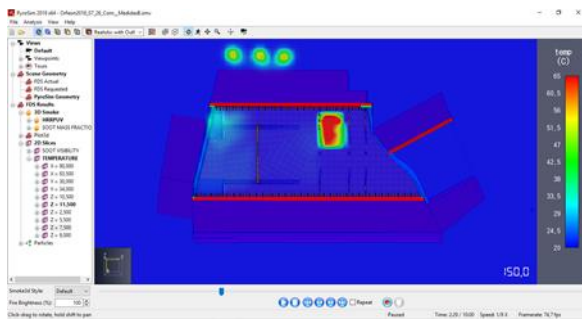
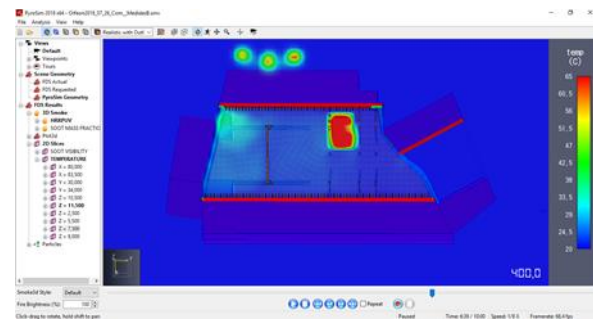
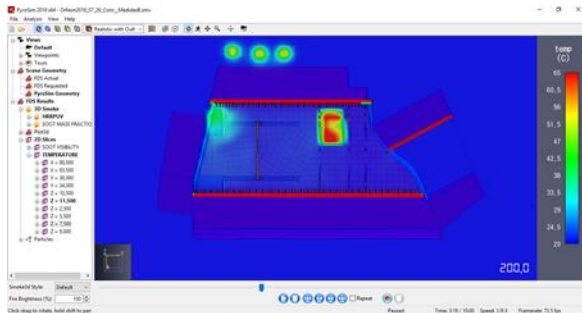
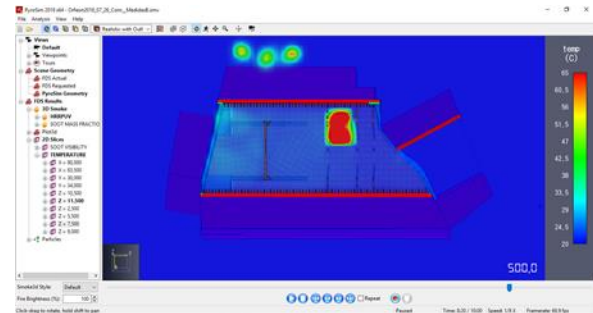
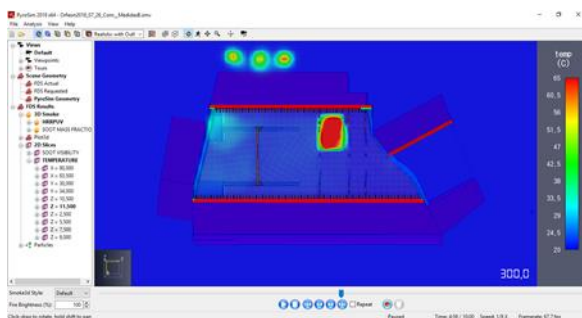
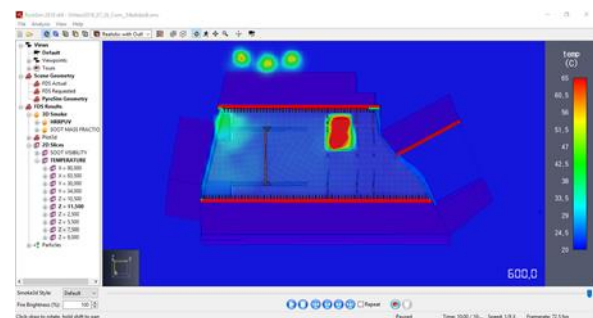
Figura 337 – Plano de temperaturas $t = 500$ sFigura 338 – Plano de temperaturas $t = 600$ s

4.3. Plano de temperaturas – cota 11,50 metros

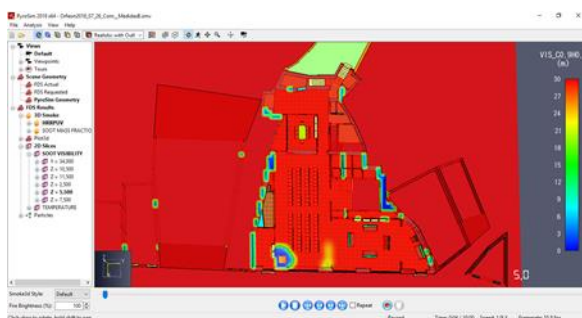
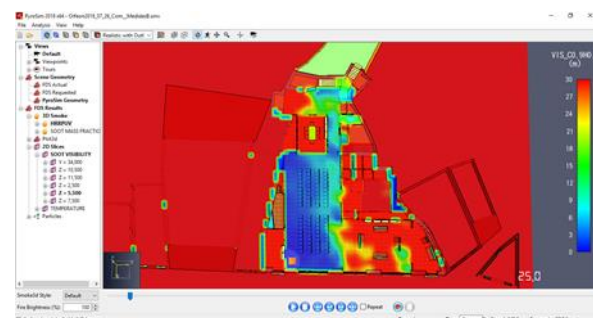
Nota 13 – Cota Piso Sótão: 10,20 metros

Nota 14 – Temperatura máxima atingida: 65 °C

Figura 339 – Plano de temperaturas $t = 5$ sFigura 342 – Plano de temperaturas $t = 75$ sFigura 340 – Plano de temperaturas $t = 25$ sFigura 343 – Plano de temperaturas $t = 100$ sFigura 341 – Plano de temperaturas $t = 50$ sFigura 344 – Plano de temperaturas $t = 125$ s

Figura 345 – Plano de temperaturas $t = 150$ sFigura 348 – Plano de temperaturas $t = 400$ sFigura 346 – Plano de temperaturas $t = 200$ sFigura 349 – Plano de temperaturas $t = 500$ sFigura 347 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 350 – Plano de temperaturas $t = 600$ s

4.4. Plano de visibilidade – cota 5,50 metros

Figura 351 – Plano de visibilidade $t = 5$ sFigura 352 – Plano de visibilidade $t = 25$ s

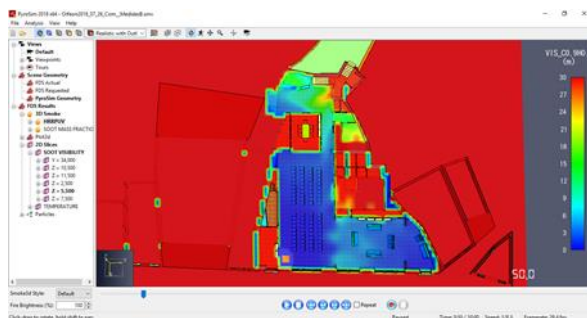


Figura 353 – Plano de visibilidade t = 50 s

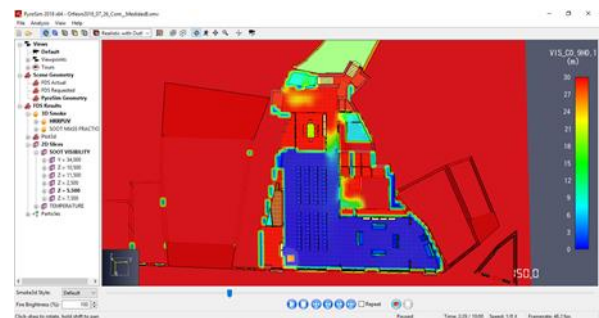


Figura 357 – Plano de visibilidade t = 150 s

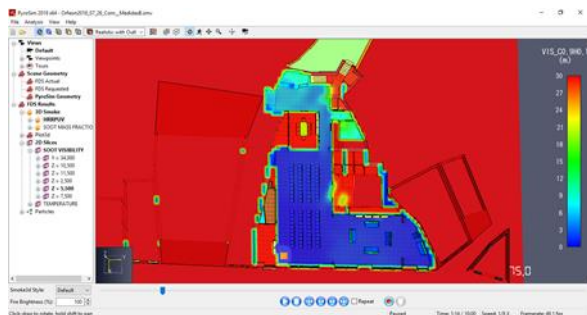


Figura 354 – Plano de visibilidade t = 75 s

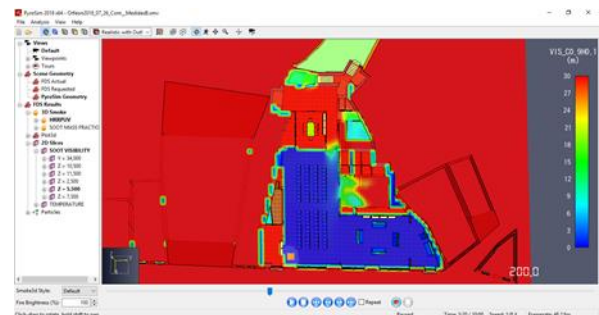


Figura 358 – Plano de visibilidade t = 200 s

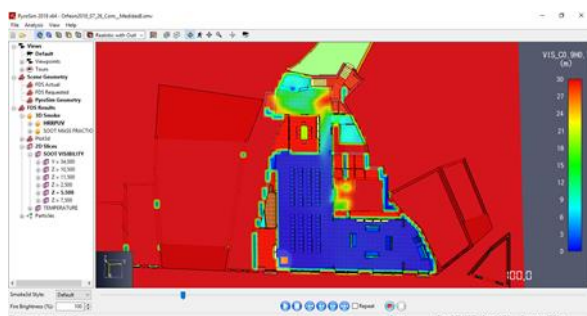


Figura 355 – Plano de visibilidade t = 100 s

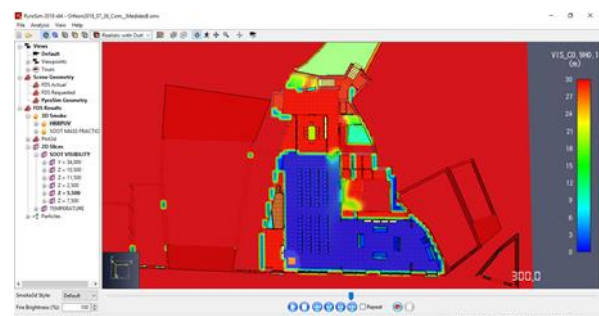


Figura 359 – Plano de visibilidade t = 300 s

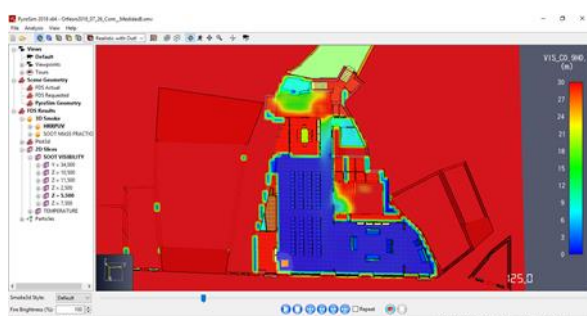


Figura 356 – Plano de visibilidade t = 125 s

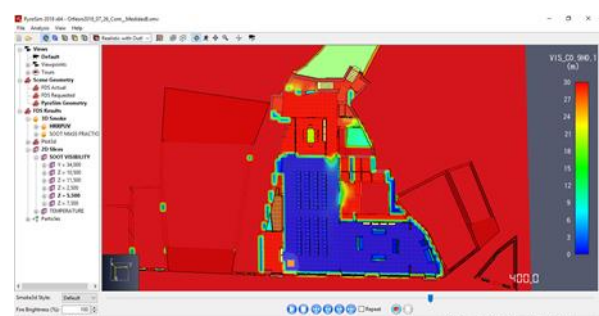


Figura 360 – Plano de visibilidade t = 400 s

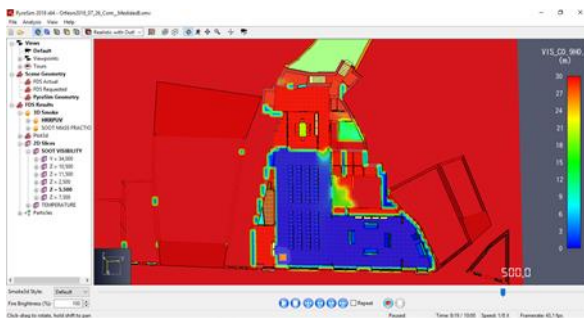


Figura 361 – Plano de visibilidade t = 500 s

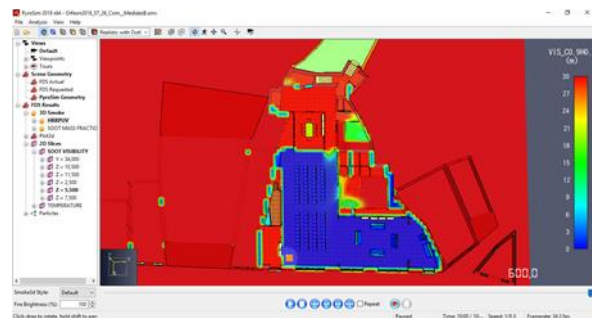


Figura 362 – Plano de visibilidade t = 600 s

4.5. Plano de visibilidade – cota 7,50 metros

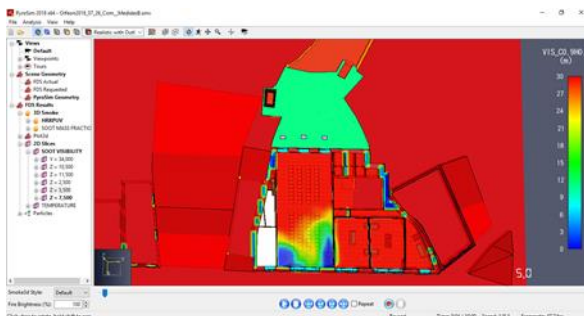


Figura 363 – Plano de visibilidade t = 5 s

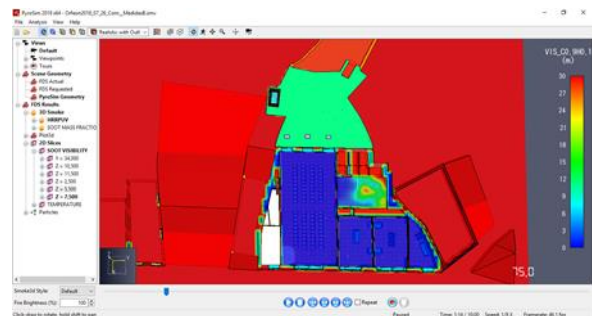


Figura 366 – Plano de visibilidade t = 75 s

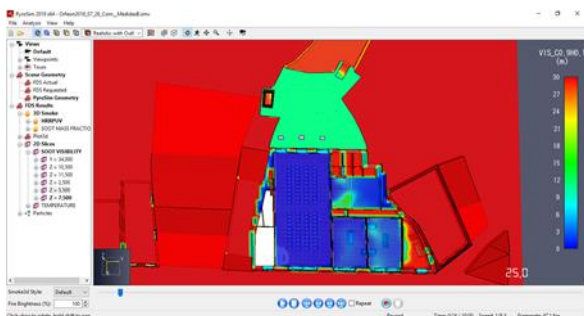


Figura 364 – Plano de visibilidade t = 25 s

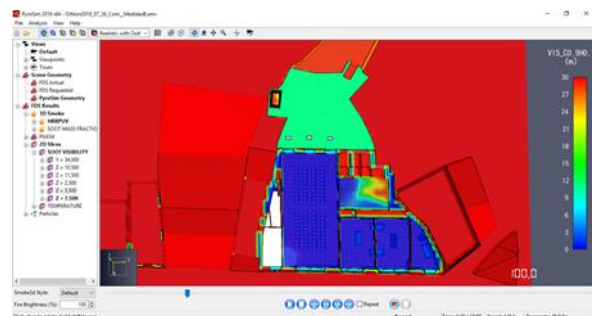


Figura 367 – Plano de visibilidade t = 100 s

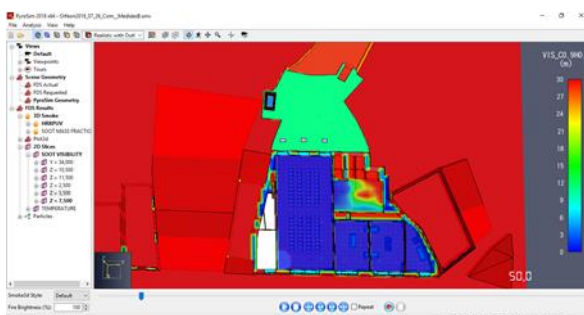


Figura 365 – Plano de visibilidade t = 50 s

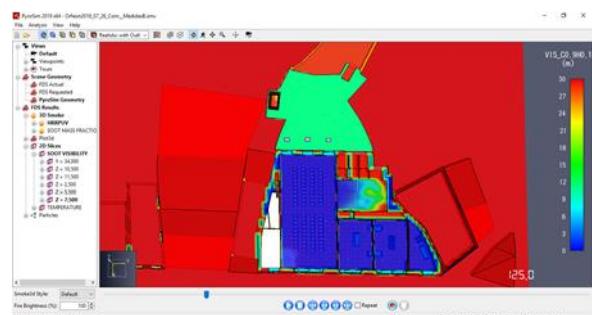


Figura 368 – Plano de visibilidade t = 125 s

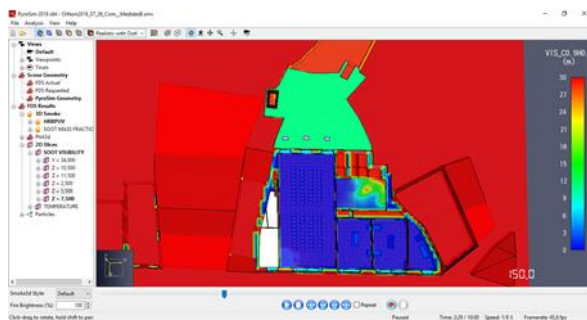


Figura 369 – Plano de visibilidade t = 150 s

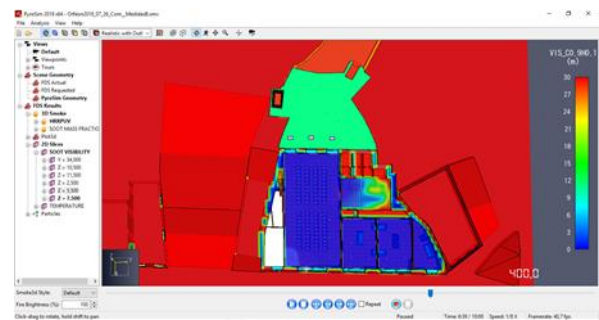


Figura 372 – Plano de visibilidade t = 400 s

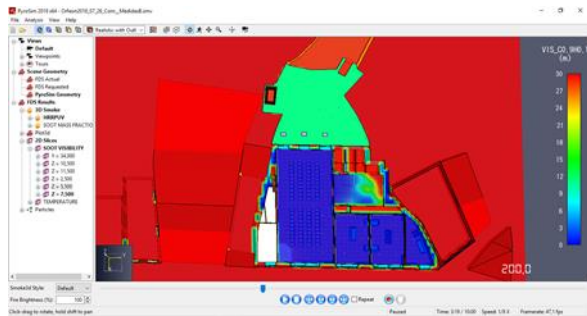


Figura 370 – Plano de visibilidade t = 200 s

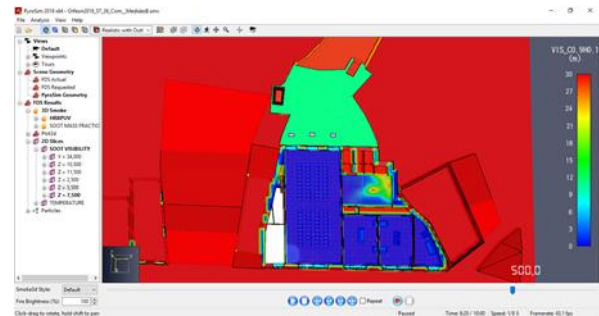


Figura 373 – Plano de visibilidade t = 500 s

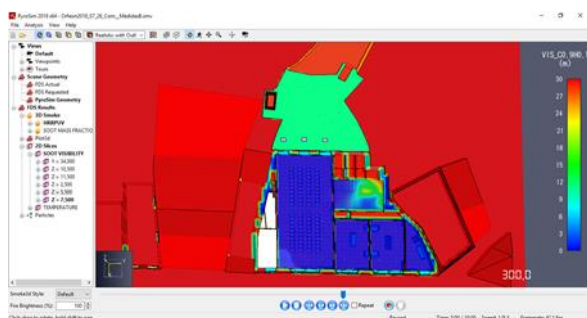


Figura 371 – Plano de visibilidade t = 300 s

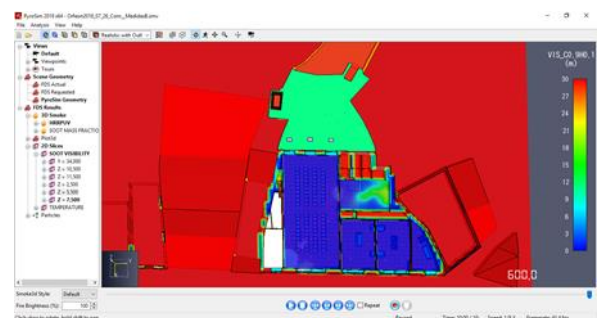


Figura 374 – Plano de visibilidade t = 600 s

4.6. Plano de visibilidade – cota 11,50 metros

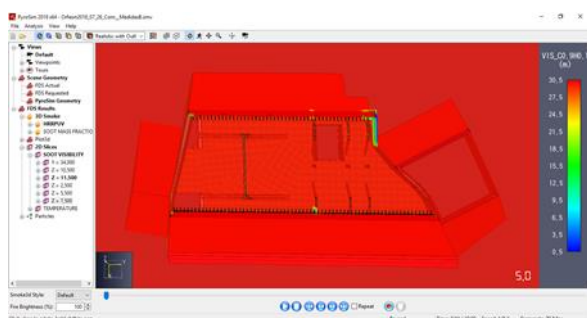


Figura 375 – Plano de visibilidade t = 5 s

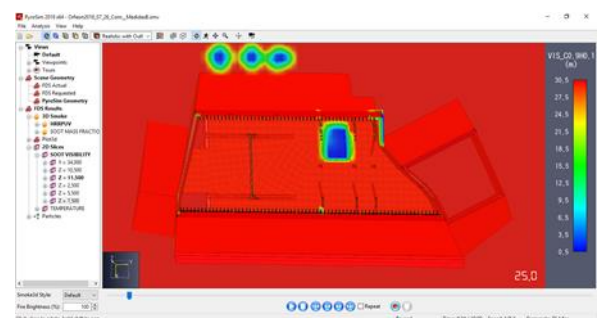


Figura 376 – Plano de visibilidade t = 25 s

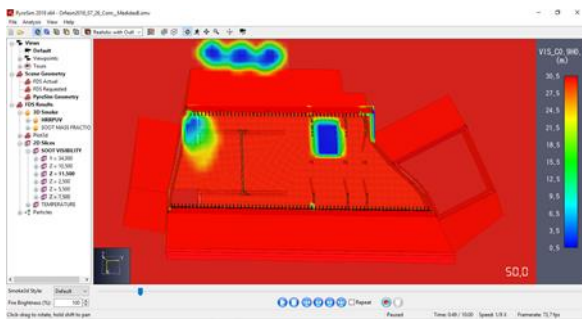


Figura 377 – Plano de visibilidade t = 50 s

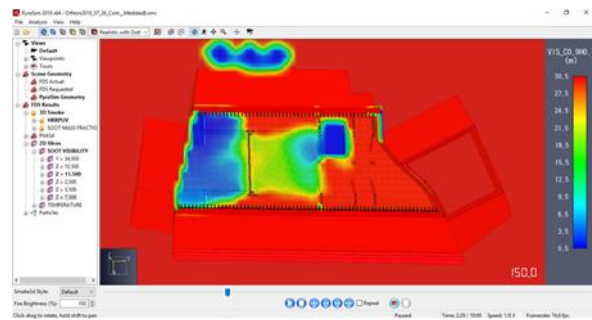


Figura 381 – Plano de visibilidade t = 150 s

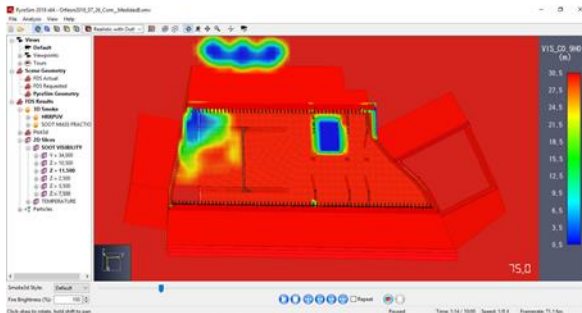


Figura 378 – Plano de visibilidade t = 75 s

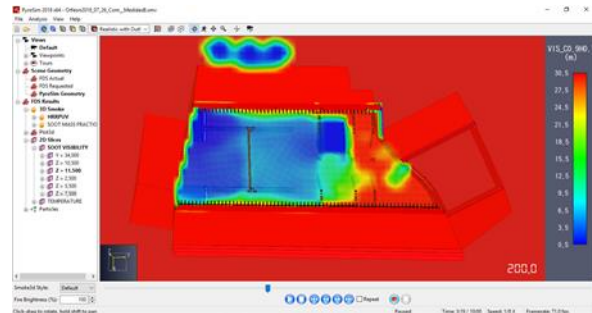


Figura 382 – Plano de visibilidade t = 200 s

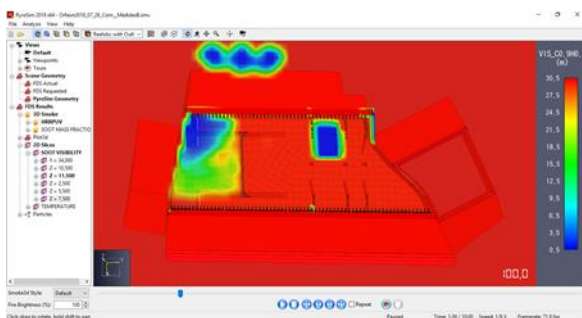


Figura 379 – Plano de visibilidade t = 100 s

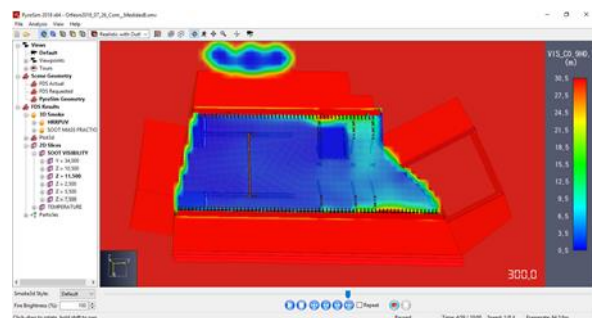


Figura 383 – Plano de visibilidade t = 300 s

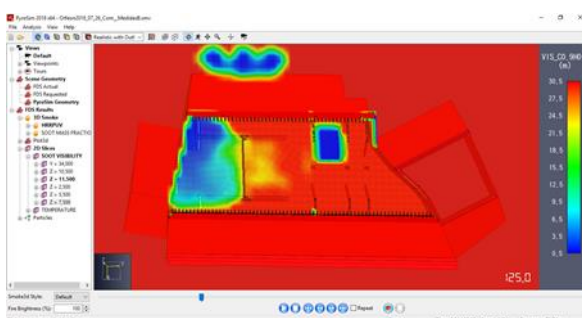


Figura 380 – Plano de visibilidade t = 125 s

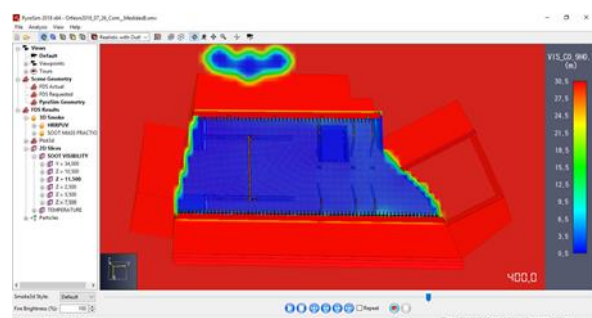
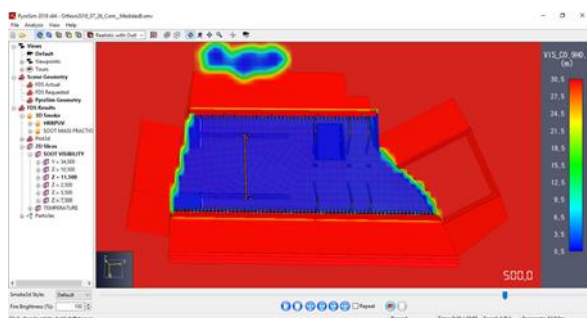
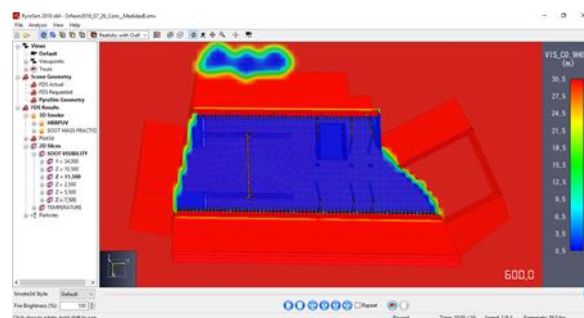


Figura 384 – Plano de visibilidade t = 400 s

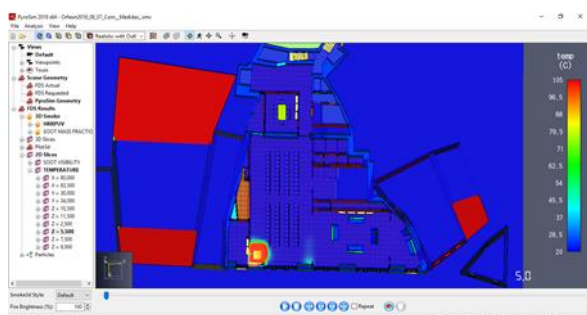
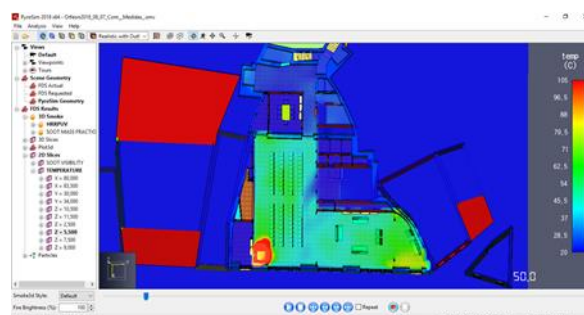
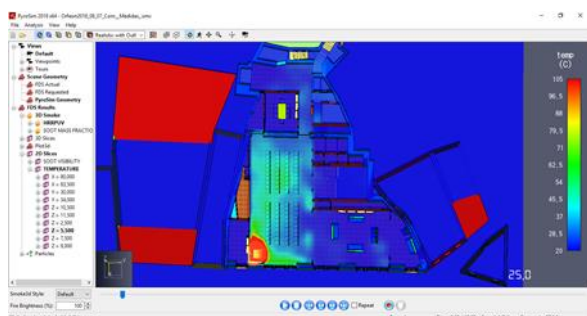
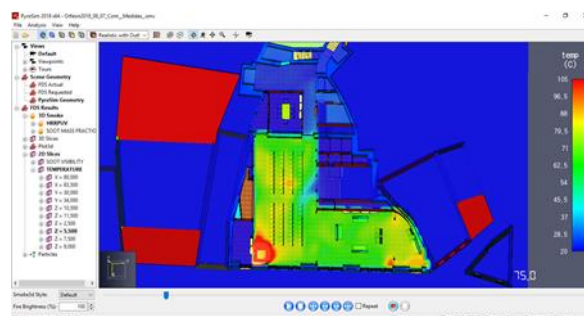
Figura 385 – Plano de visibilidade $t = 500$ sFigura 386 – Plano de visibilidade $t = 600$ s

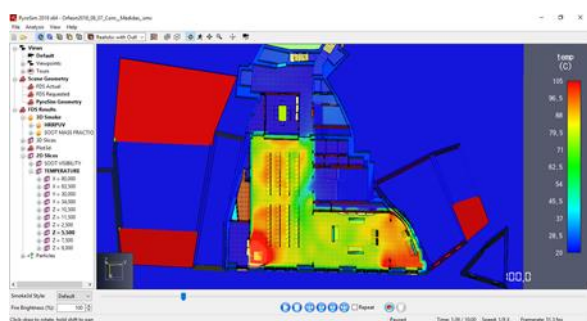
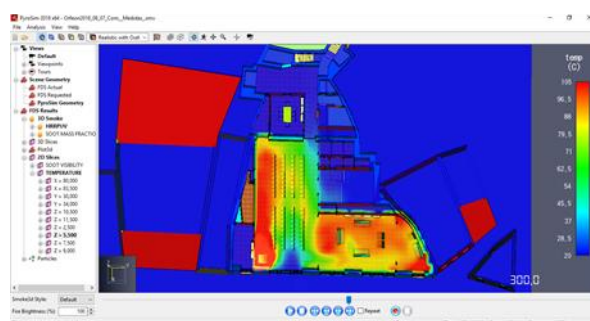
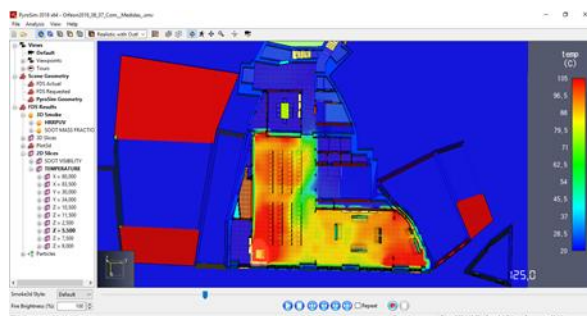
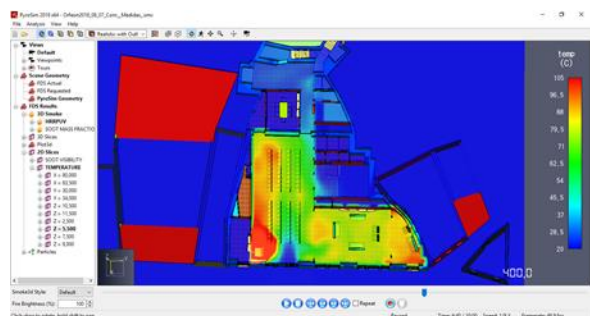
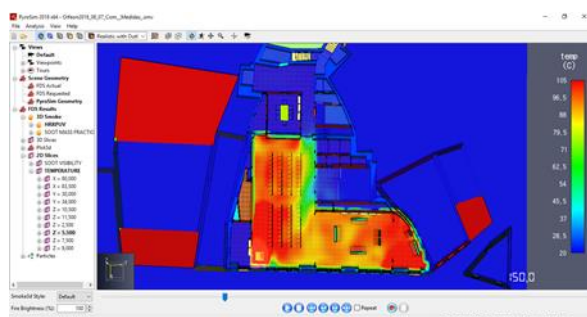
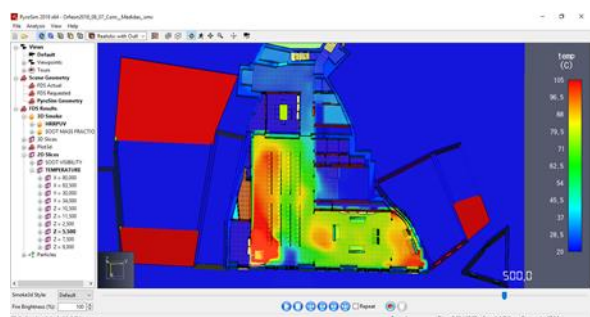
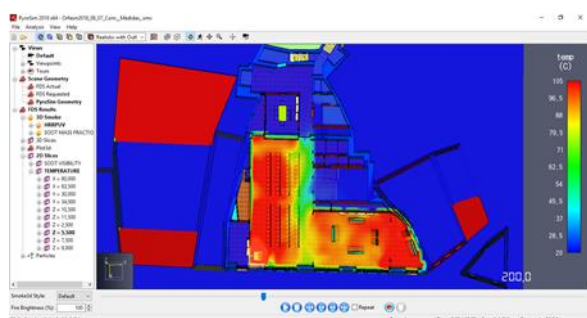
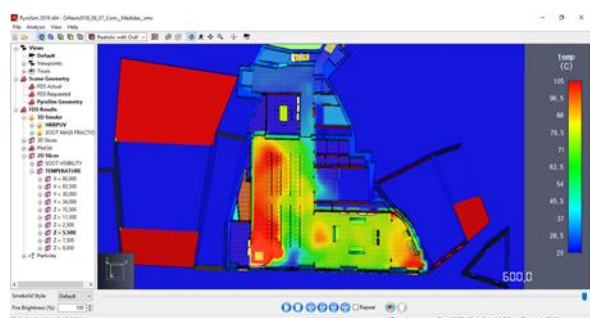
5. Modelo D – Evolução das temperaturas e distâncias de visibilidade

5.1. Plano de temperaturas – cota 5,50 metros

Nota 15 – Cota Piso 1: 4,80 metros

Nota 16 – Temperatura máxima atingida: 105 °C

Figura 387 – Plano de temperaturas $t = 5$ sFigura 389 – Plano de temperaturas $t = 50$ sFigura 388 – Plano de temperaturas $t = 25$ sFigura 390 – Plano de temperaturas $t = 75$ s

Figura 391 – Plano de temperaturas $t = 100$ sFigura 395 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 392 – Plano de temperaturas $t = 125$ sFigura 396 – Plano de temperaturas $t = 400$ sFigura 393 – Plano de temperaturas $t = 150$ sFigura 397 – Plano de temperaturas $t = 500$ sFigura 394 – Plano de temperaturas $t = 200$ sFigura 398 – Plano de temperaturas $t = 600$ s

5.2. Plano de temperaturas – cota 7,50 metros

Nota 17 – Temperatura máxima atingida: 370 °C

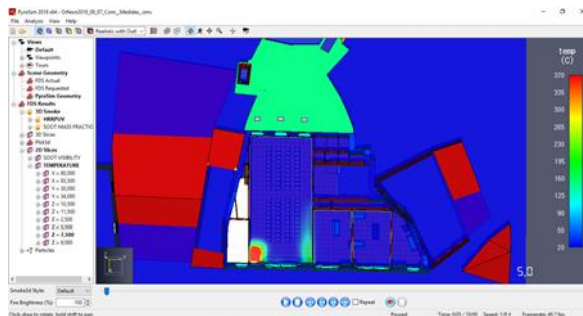


Figura 399 – Plano de temperaturas t = 5 s

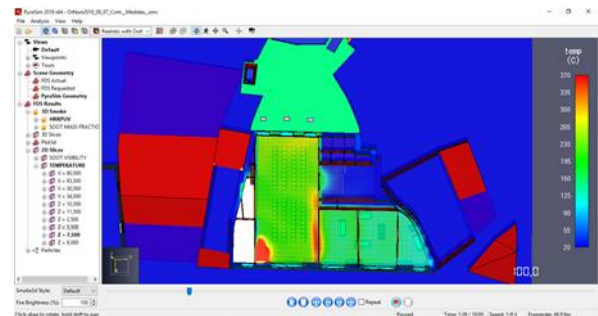


Figura 403 – Plano de temperaturas t = 100 s

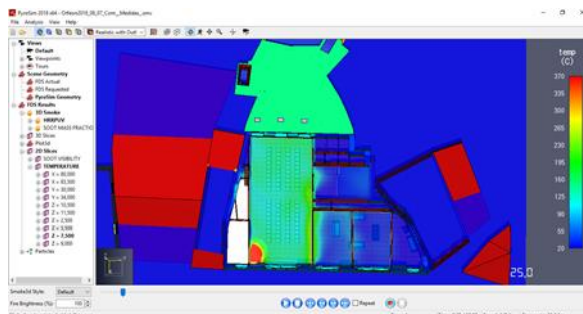


Figura 400 – Plano de temperaturas t = 25 s

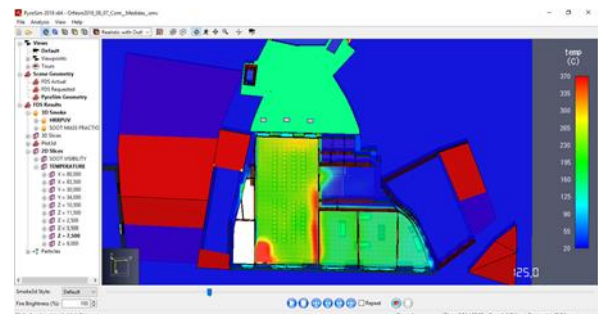


Figura 404 – Plano de temperaturas t = 125 s

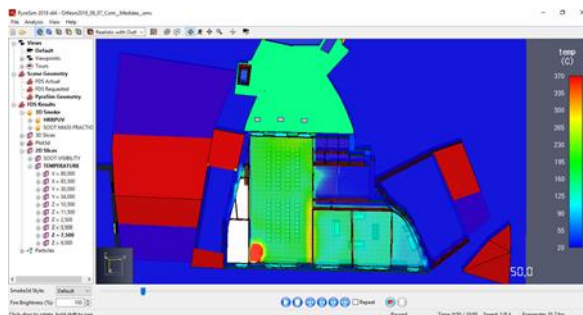


Figura 401 – Plano de temperaturas t = 50 s

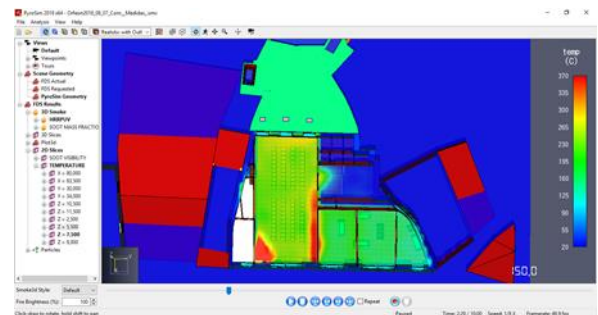


Figura 405 – Plano de temperaturas t = 150 s

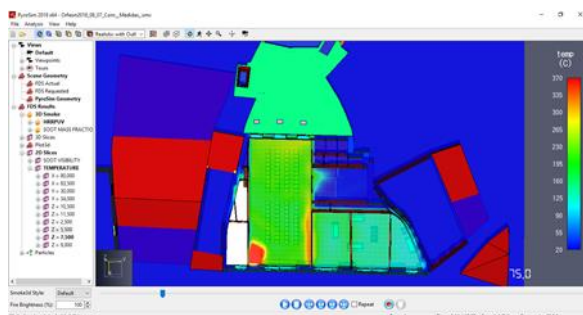


Figura 402 – Plano de temperaturas t = 75 s

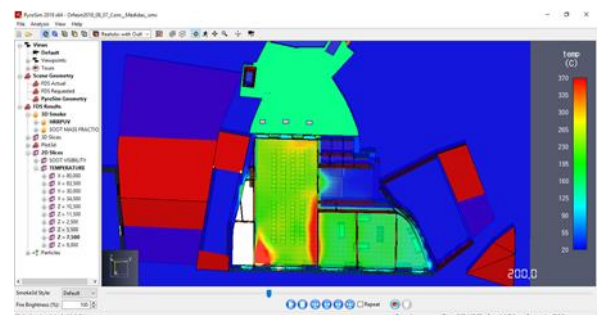
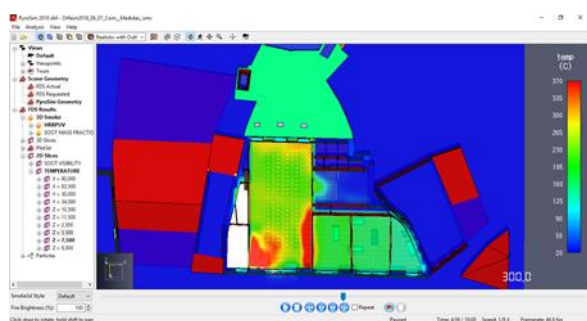
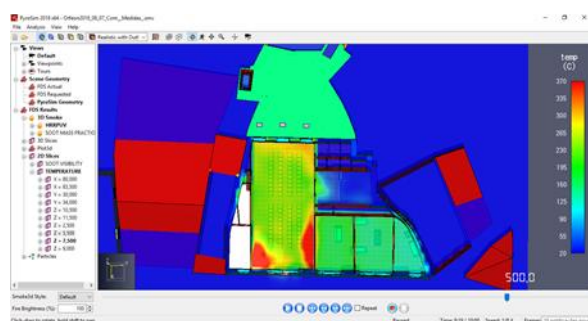
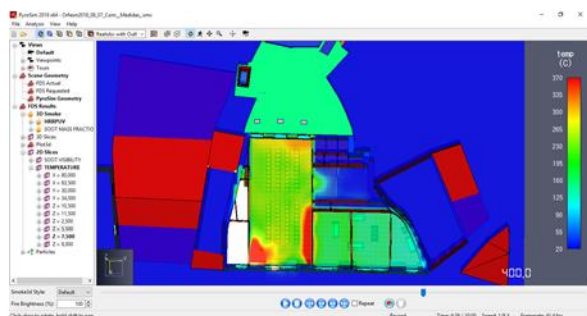
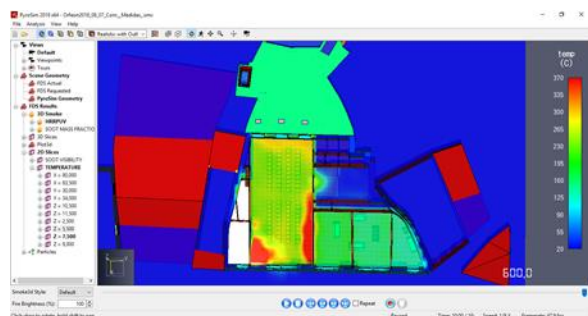


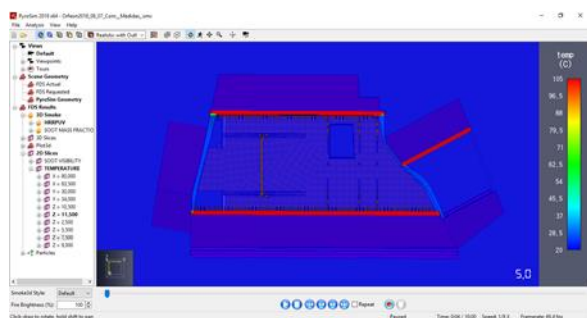
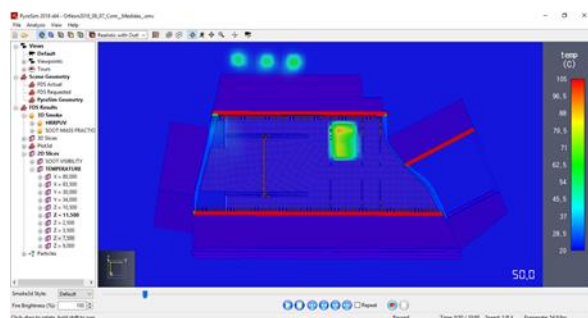
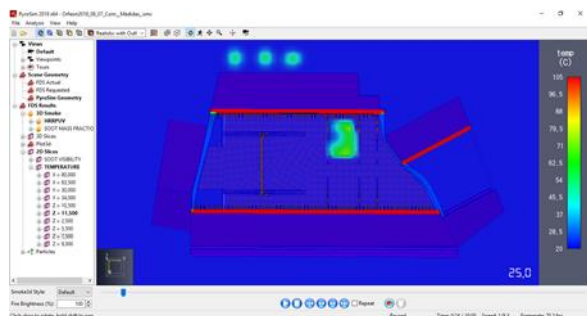
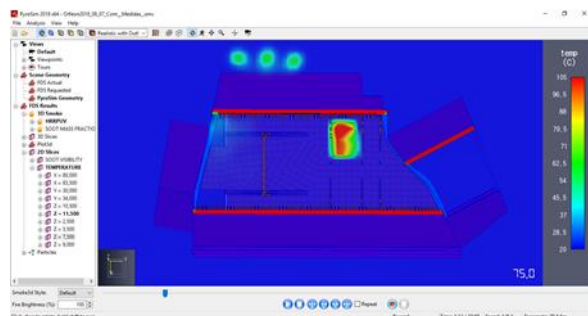
Figura 406 – Plano de temperaturas t = 200 s

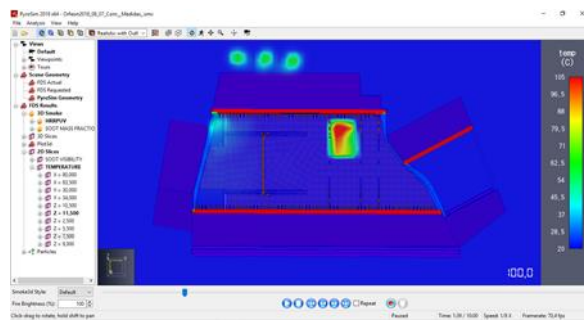
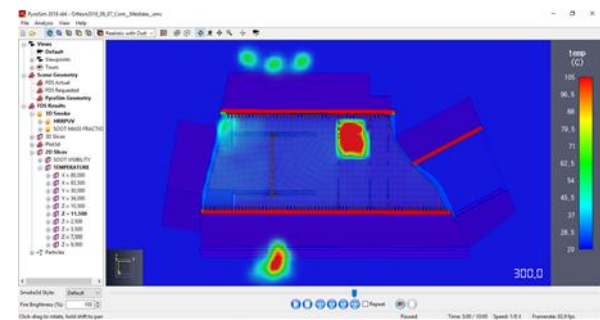
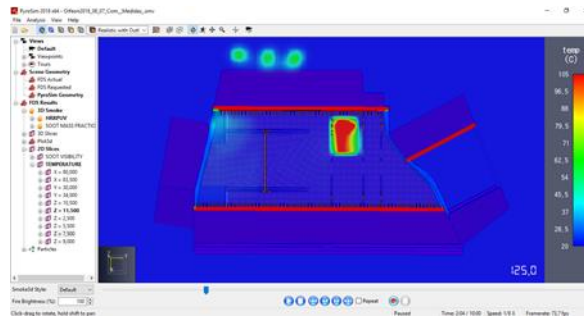
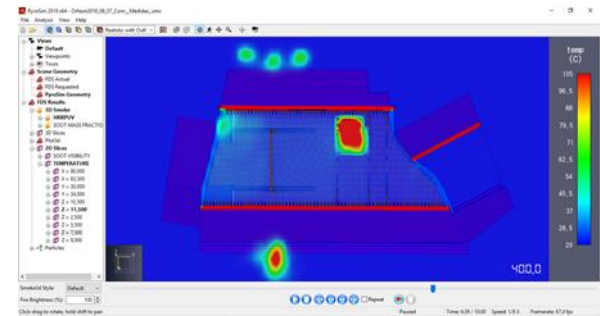
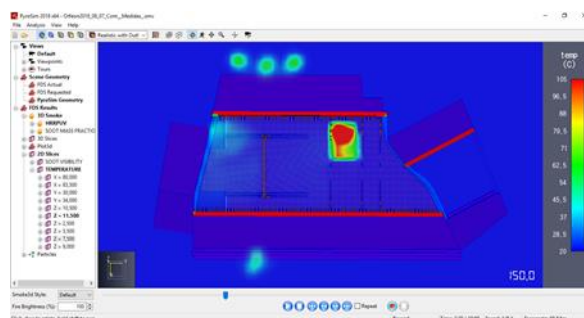
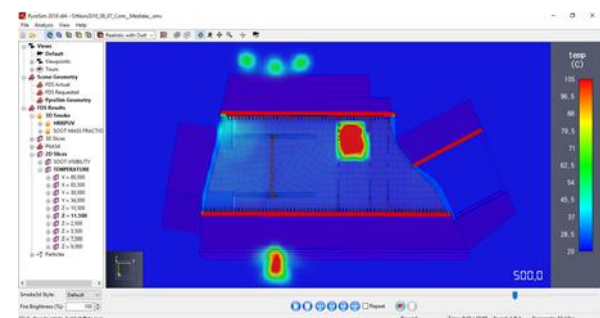
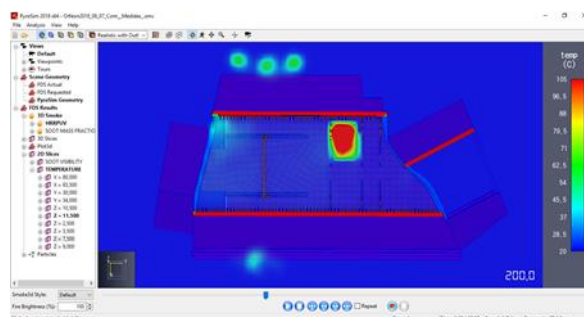
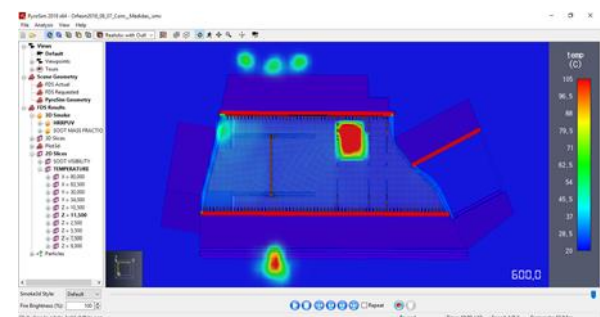
Figura 407 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 409 – Plano de temperaturas $t = 500$ sFigura 408 – Plano de temperaturas $t = 400$ sFigura 410 – Plano de temperaturas $t = 600$ s

5.3. Plano de temperaturas – cota 11,50 metros

Nota 18 – Cota Piso Sótão: 10,20 metros

Nota 19 – Temperatura máxima atingida: 105 °C

Figura 411 – Plano de temperaturas $t = 5$ sFigura 413 – Plano de temperaturas $t = 50$ sFigura 412 – Plano de temperaturas $t = 25$ sFigura 414 – Plano de temperaturas $t = 75$ s

Figura 415 – Plano de temperaturas $t = 100$ sFigura 419 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 416 – Plano de temperaturas $t = 125$ sFigura 420 – Plano de temperaturas $t = 400$ sFigura 417 – Plano de temperaturas $t = 150$ sFigura 421 – Plano de temperaturas $t = 500$ sFigura 418 – Plano de temperaturas $t = 200$ sFigura 422 – Plano de temperaturas $t = 600$ s

5.4. Plano de visibilidade – cota 5,50 metros

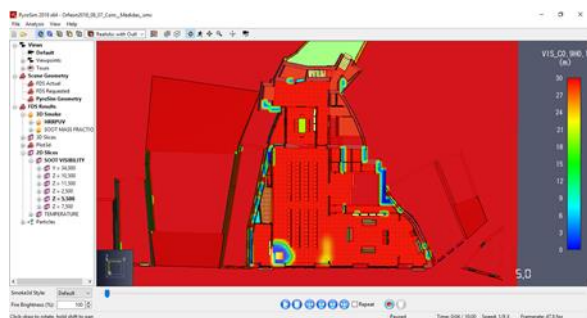


Figura 423 – Plano de visibilidade t = 5 s

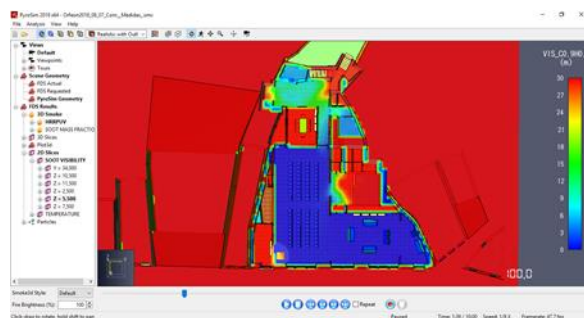


Figura 427 – Plano de visibilidade t = 100 s

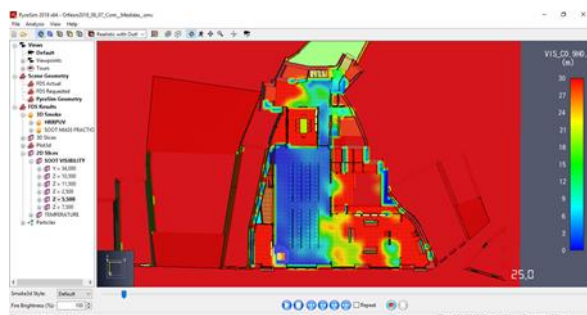


Figura 424 – Plano de visibilidade t = 25 s

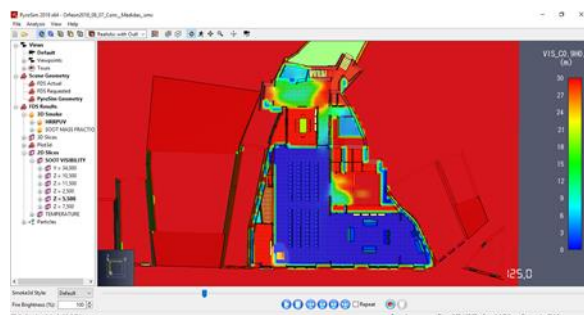


Figura 428 – Plano de visibilidade t = 125 s

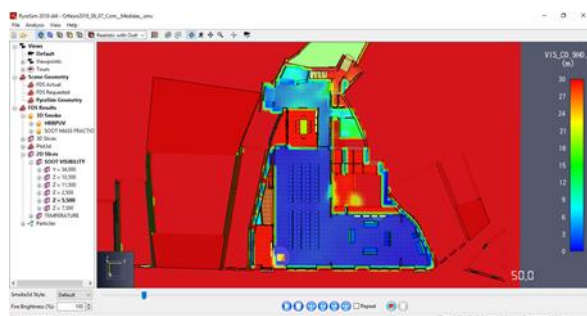


Figura 425 – Plano de visibilidade t = 50 s

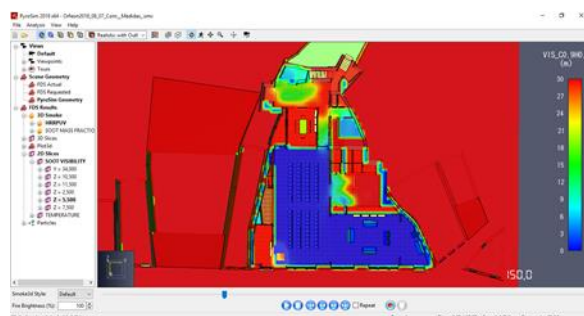


Figura 429 – Plano de visibilidade t = 150 s

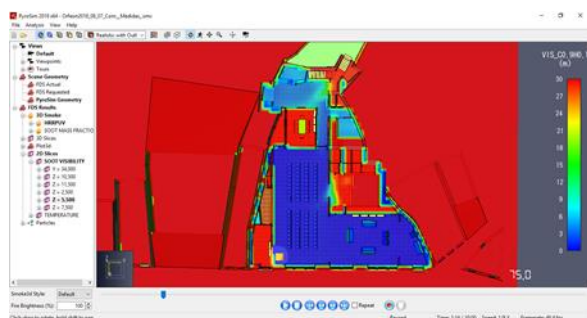


Figura 426 – Plano de visibilidade t = 75 s

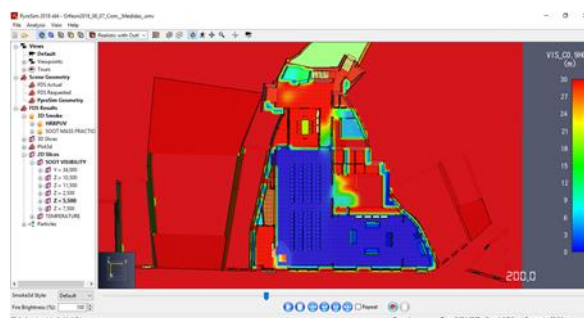
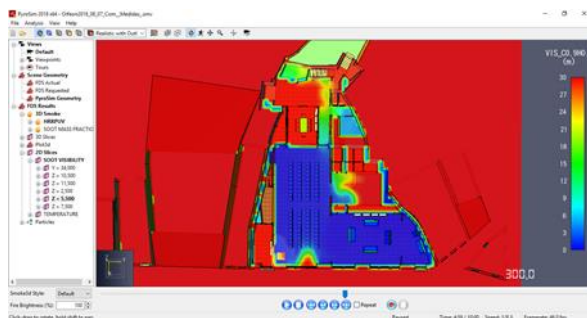
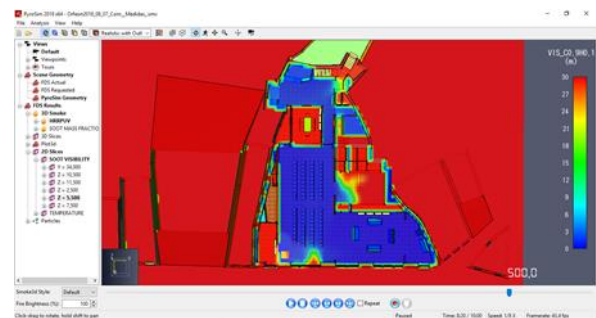
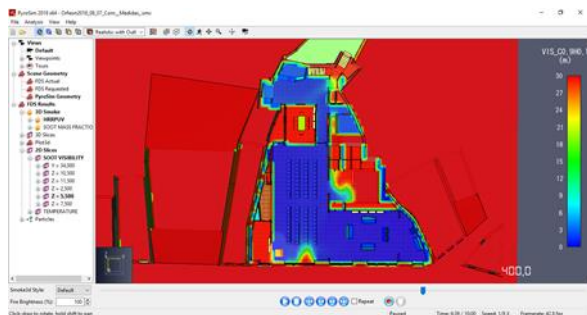
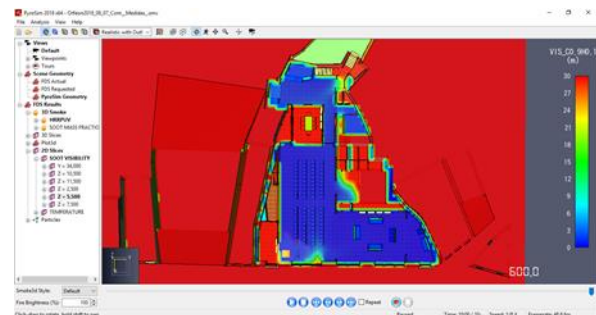
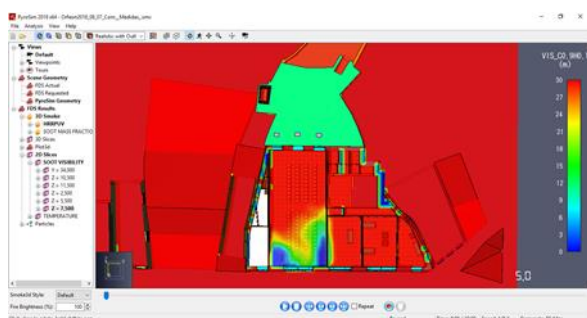
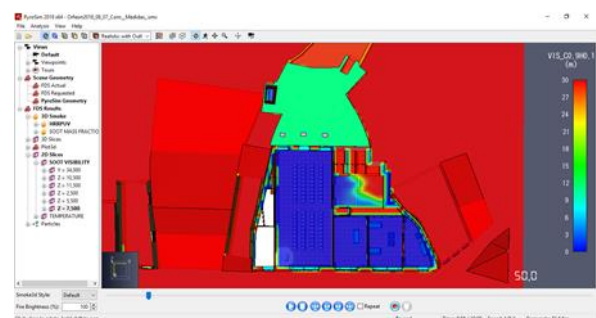
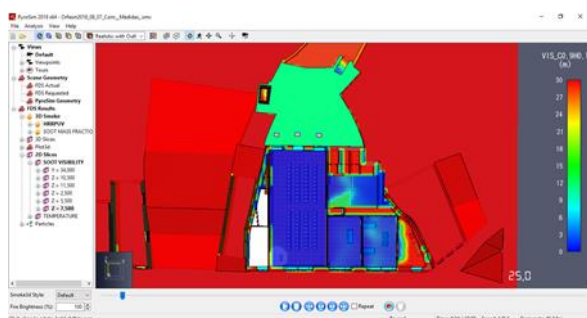
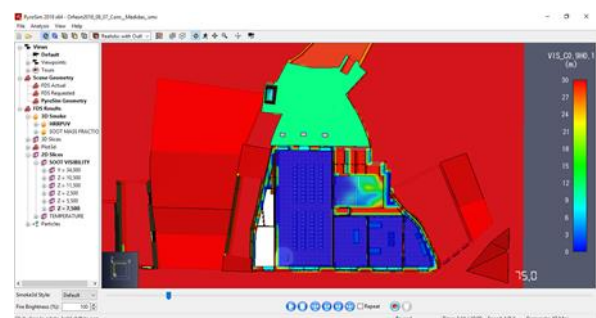
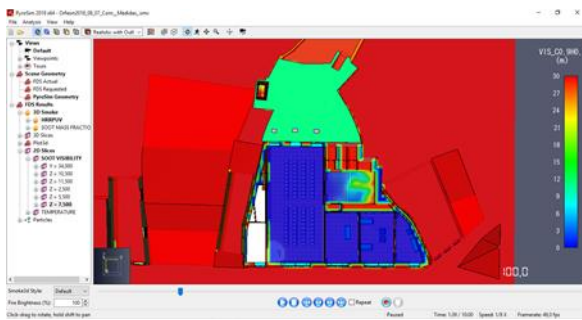
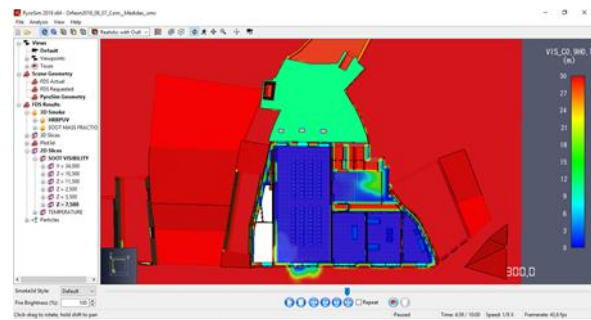
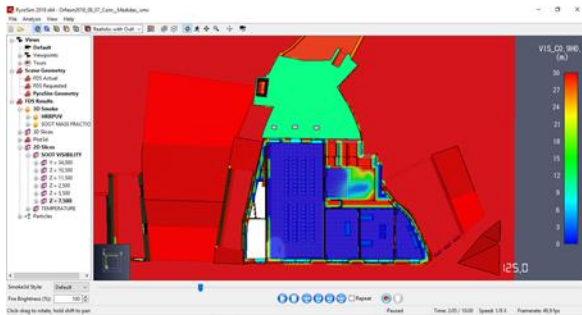
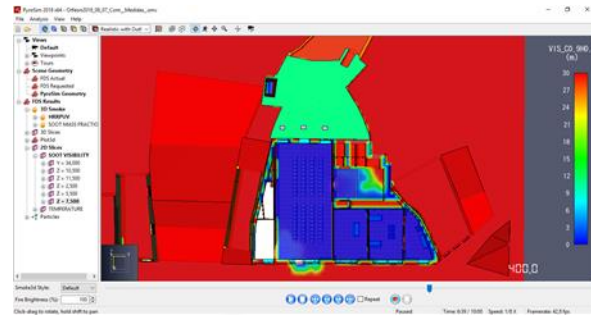
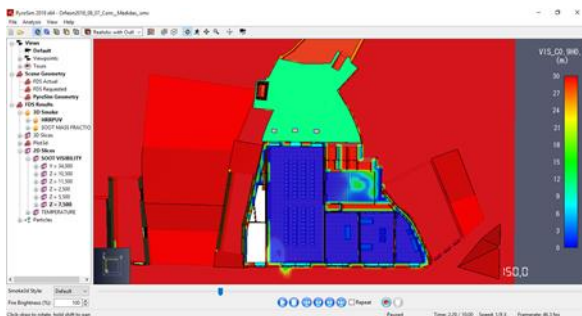
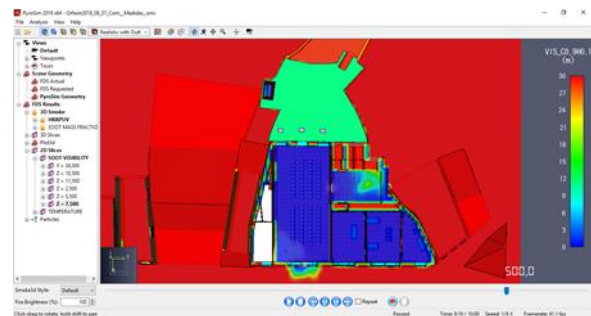
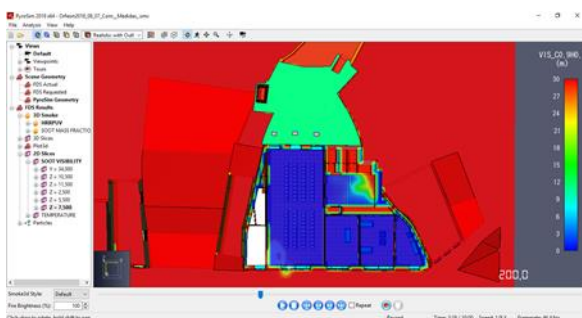
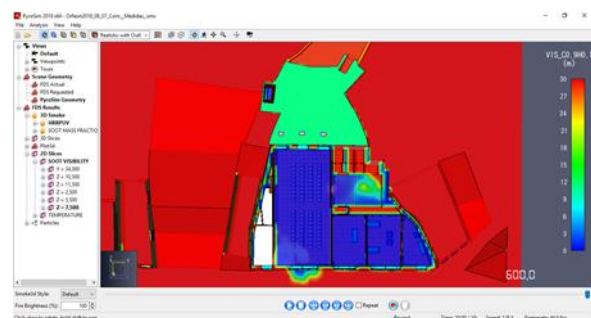


Figura 430 – Plano de visibilidade t = 200 s

Figura 431 – Plano de visibilidade $t = 300$ sFigura 433 – Plano de visibilidade $t = 500$ sFigura 432 – Plano de visibilidade $t = 400$ sFigura 434 – Plano de visibilidade $t = 600$ s

5.5. Plano de visibilidade – cota 7,50 metros

Figura 435 – Plano de visibilidade $t = 5$ sFigura 437 – Plano de visibilidade $t = 50$ sFigura 436 – Plano de visibilidade $t = 25$ sFigura 438 – Plano de visibilidade $t = 75$ s

Figura 439 – Plano de visibilidade $t = 100$ sFigura 443 – Plano de visibilidade $t = 300$ sFigura 440 – Plano de visibilidade $t = 125$ sFigura 444 – Plano de visibilidade $t = 400$ sFigura 441 – Plano de visibilidade $t = 150$ sFigura 445 – Plano de visibilidade $t = 500$ sFigura 442 – Plano de visibilidade $t = 200$ sFigura 446 – Plano de visibilidade $t = 600$ s

5.6. Plano de visibilidade – cota 11,50 metros

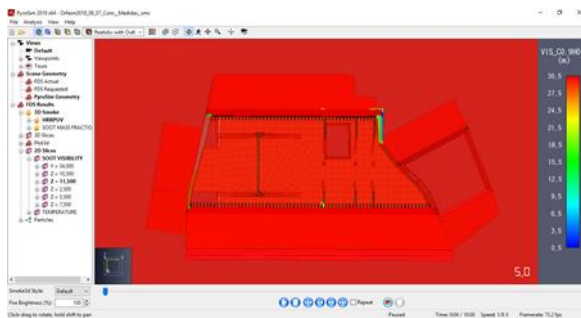


Figura 447 – Plano de visibilidade $t = 5$ s

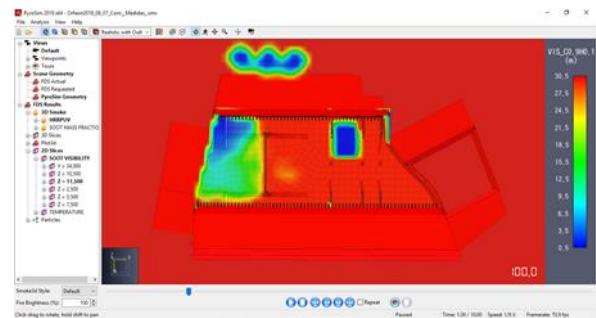


Figura 451 – Plano de visibilidade $t = 100$ s

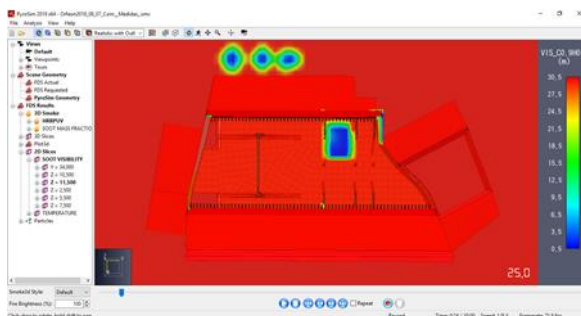


Figura 448 – Plano de visibilidade $t = 25$ s

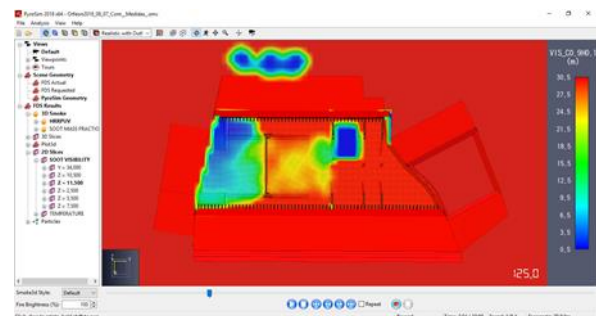


Figura 452 – Plano de visibilidade $t = 125$ s

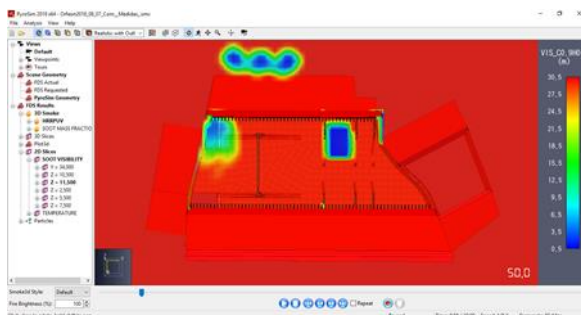


Figura 449 – Plano de visibilidade $t = 50$ s

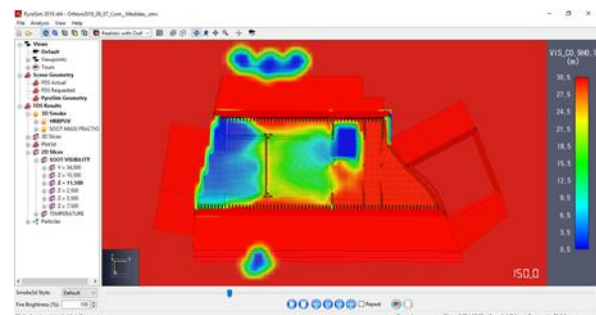


Figura 453 – Plano de visibilidade $t = 150$ s

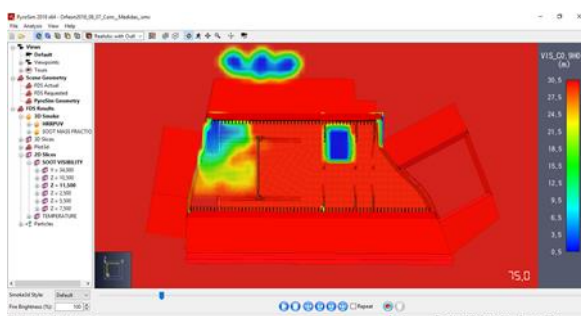


Figura 450 – Plano de visibilidade $t = 75$ s

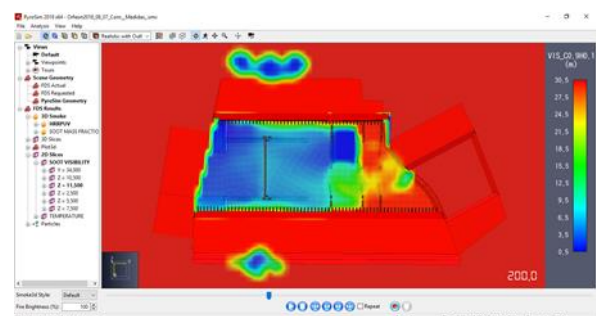


Figura 454 – Plano de visibilidade $t = 200$ s

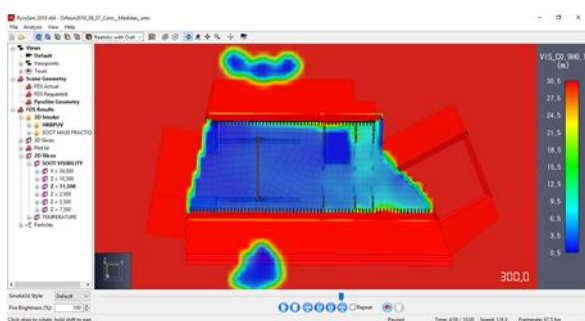


Figura 455 – Plano de visibilidade t = 300 s

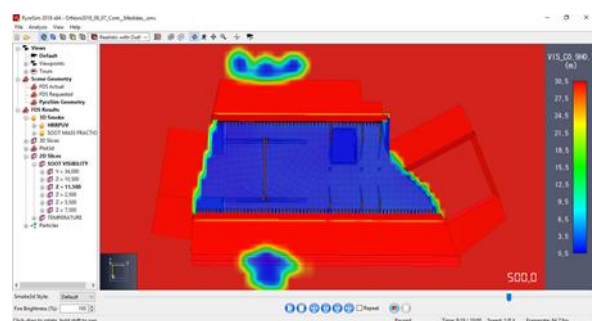


Figura 457 – Plano de visibilidade t = 500 s

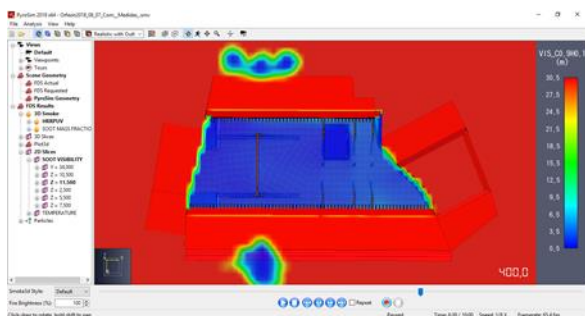


Figura 456 – Plano de visibilidade t = 400 s

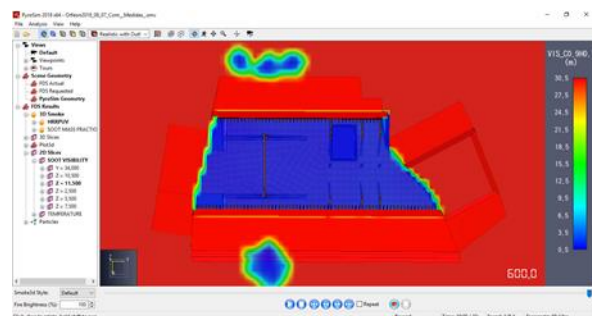


Figura 458 – Plano de visibilidade t = 600 s

6. Modelo E – Evolução das temperaturas

6.1. Plano de temperaturas – cota 5,50 metros

Nota 20 – Cota Piso 0: 0,00 metros

Nota 21 – Temperatura máxima atingida: 710 °C



Figura 459 – Plano de temperaturas t = 5 s

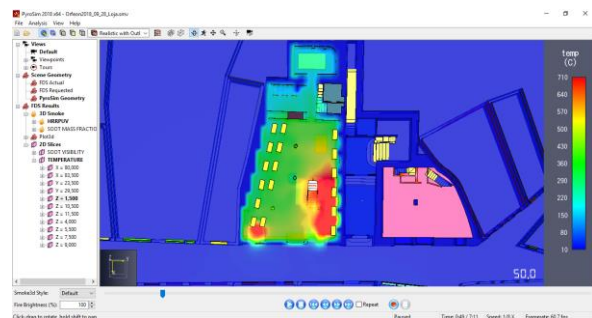


Figura 461 – Plano de temperaturas t = 50 s

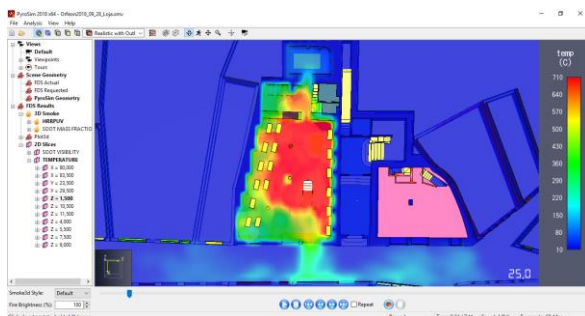


Figura 460 – Plano de temperaturas t = 25 s

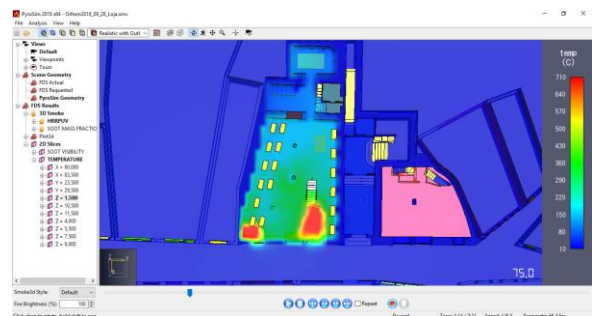
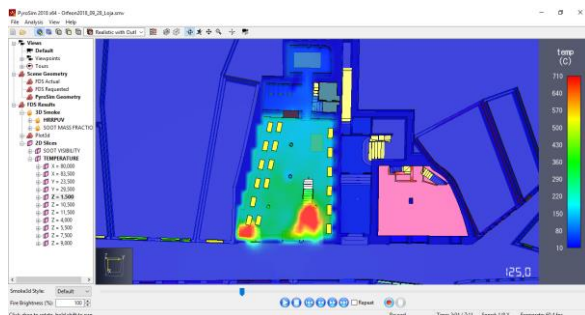
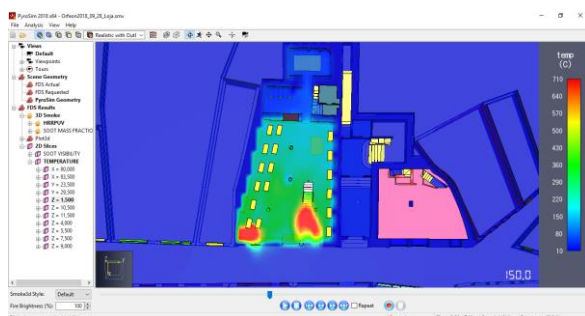
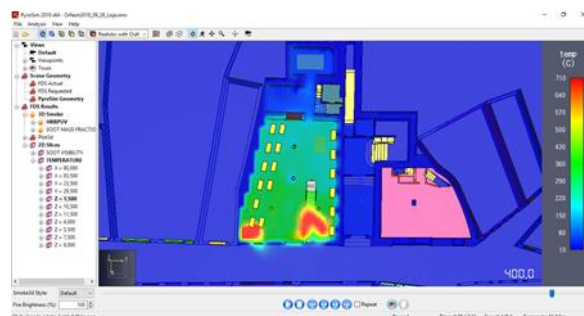
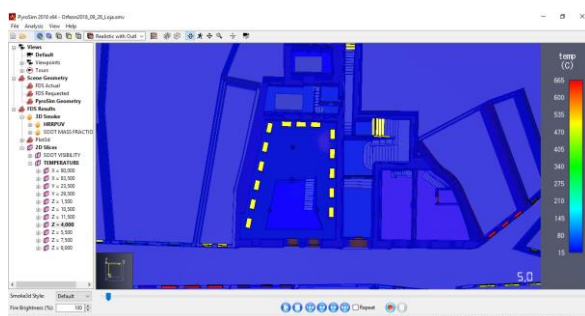
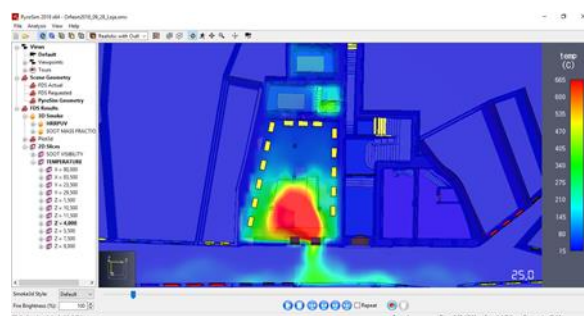


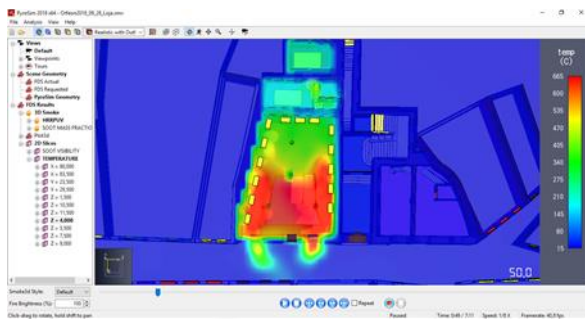
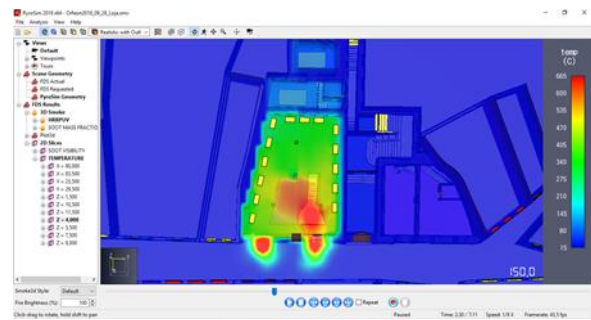
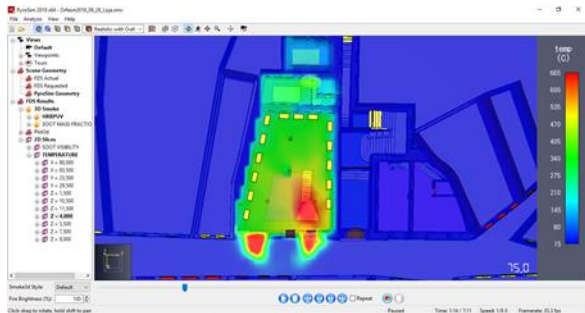
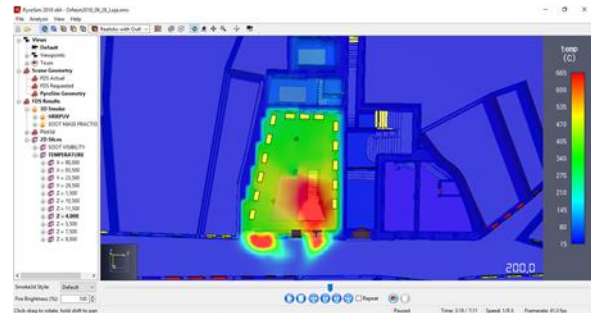
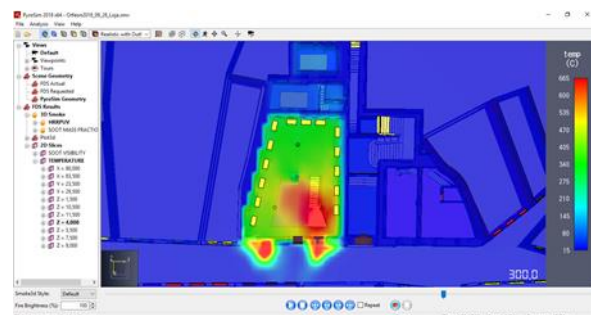
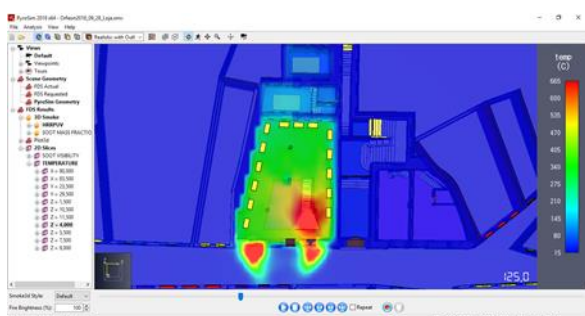
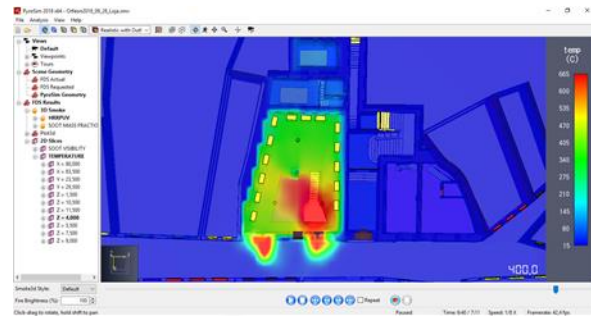
Figura 462 – Plano de temperaturas t = 75 s

Figura 463 – Plano de temperaturas $t = 100$ sFigura 466 – Plano de temperaturas $t = 200$ sFigura 464 – Plano de temperaturas $t = 125$ sFigura 467 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 465 – Plano de temperaturas $t = 150$ sFigura 468 – Plano de temperaturas $t = 400$ s

6.2. Plano de temperaturas – cota 4,00 metros

Nota 22 – Temperatura máxima atingida: 665 °C

Figura 469 – Plano de temperaturas $t = 5$ sFigura 470 – Plano de temperaturas $t = 25$ s

Figura 471 – Plano de temperaturas $t = 50$ sFigura 475 – Plano de temperaturas $t = 150$ sFigura 472 – Plano de temperaturas $t = 75$ sFigura 476 – Plano de temperaturas $t = 200$ sFigura 473 – Plano de temperaturas $t = 100$ sFigura 477 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 474 – Plano de temperaturas $t = 125$ sFigura 478 – Plano de temperaturas $t = 400$ s

6.3. Plano de temperaturas – cota 5,50 metros

Nota 23 – Cota Piso 1: 4,80 metros

Nota 24 – Temperatura máxima atingida: 270 °C

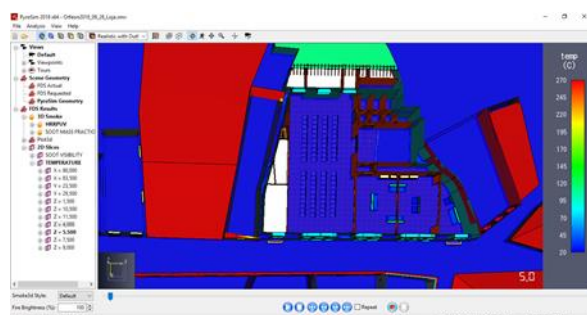


Figura 479 – Plano de temperaturas $t = 5$ s

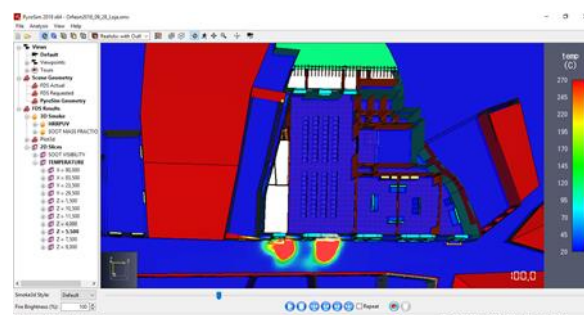


Figura 483 – Plano de temperaturas $t = 100$ s

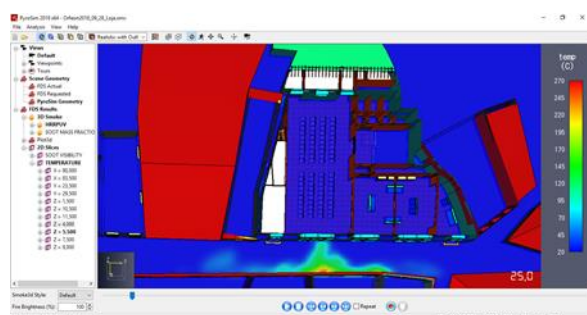


Figura 480 – Plano de temperaturas $t = 25$ s

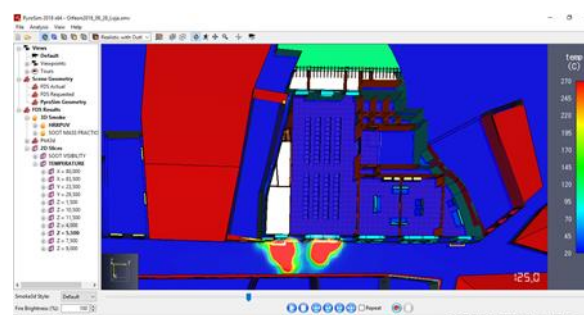


Figura 484 – Plano de temperaturas $t = 125$ s

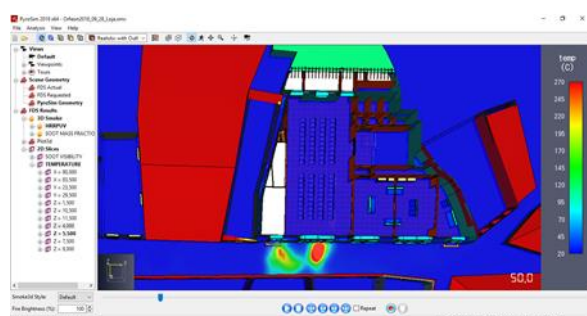


Figura 481 – Plano de temperaturas $t = 50$ s

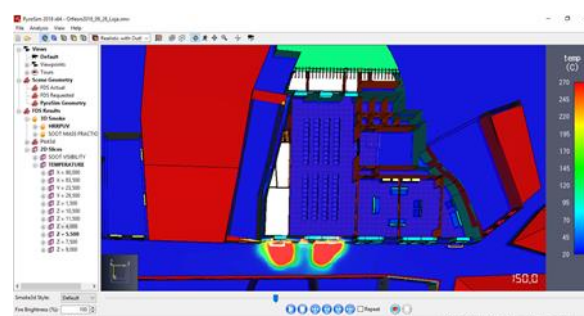


Figura 485 – Plano de temperaturas $t = 150$ s

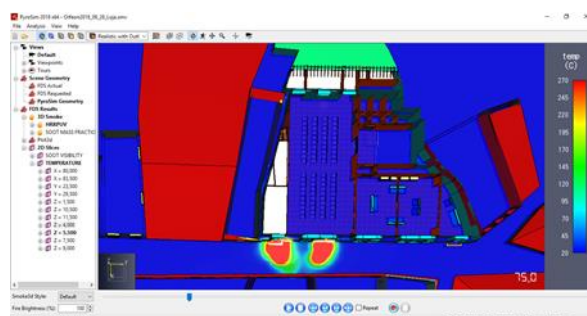


Figura 482 – Plano de temperaturas $t = 75$ s

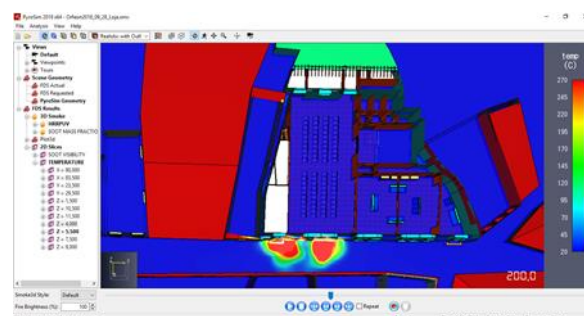
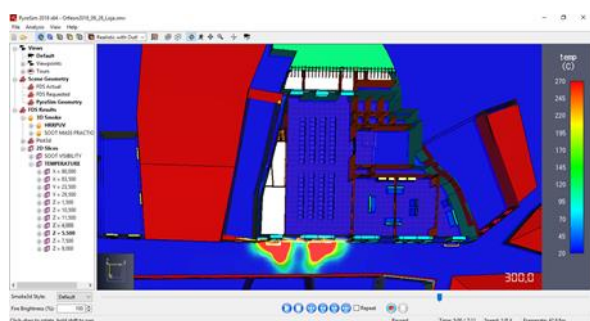
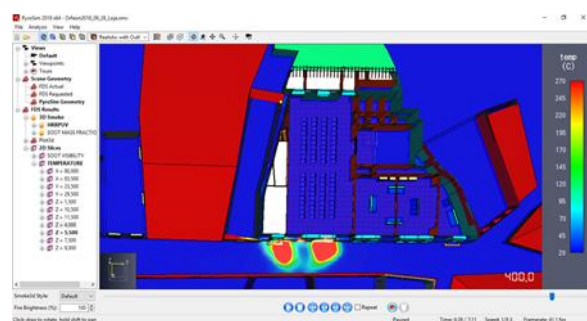
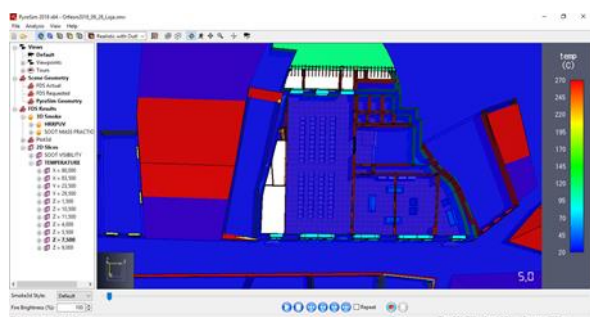
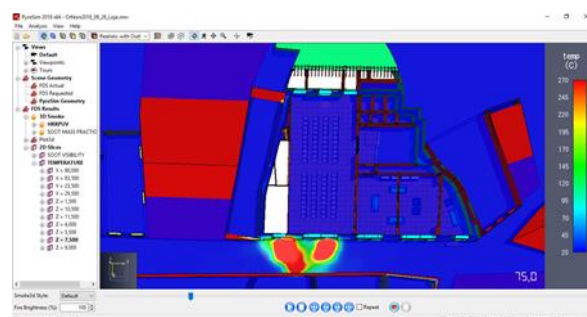
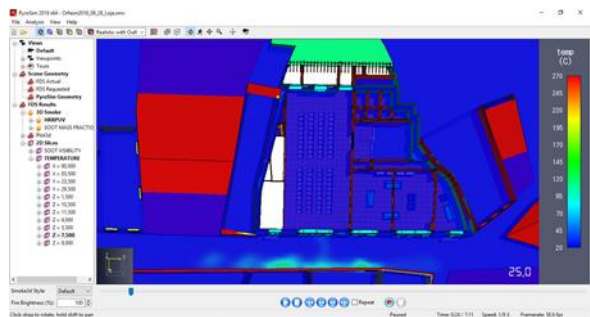
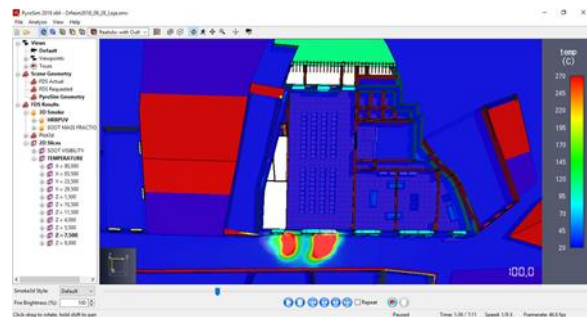
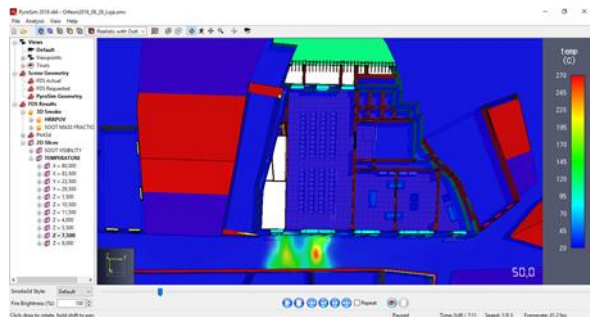
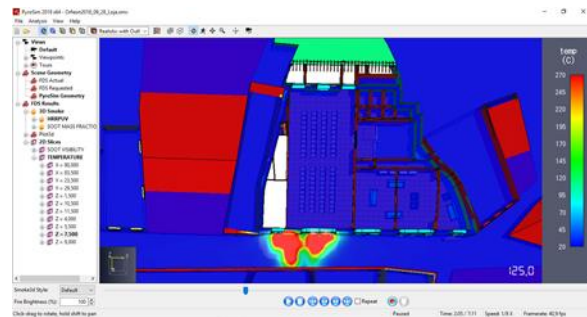


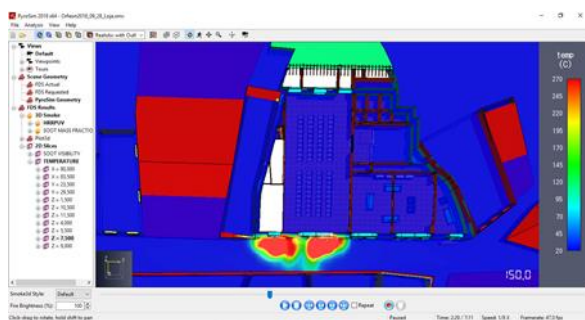
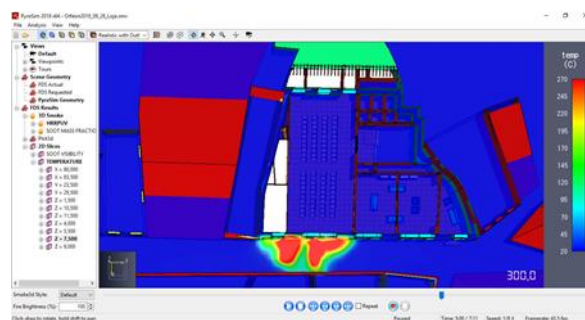
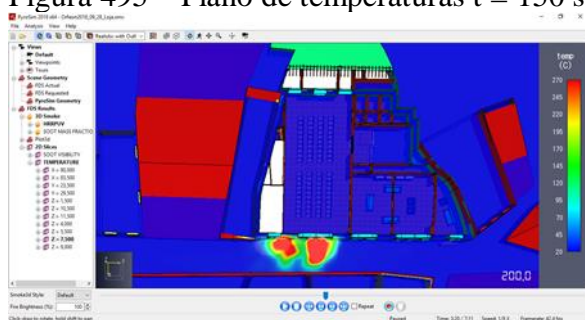
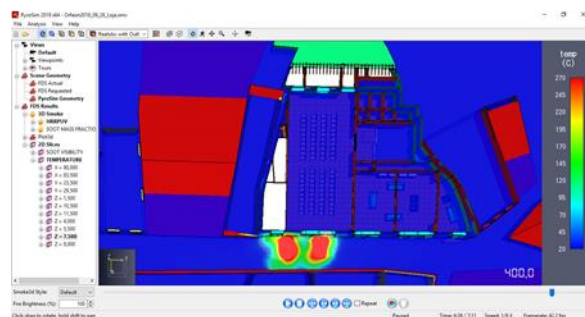
Figura 486 – Plano de temperaturas $t = 200$ s

Figura 487 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 488 – Plano de temperaturas $t = 400$ s

6.4. Plano de temperaturas – cota 7,50 metros

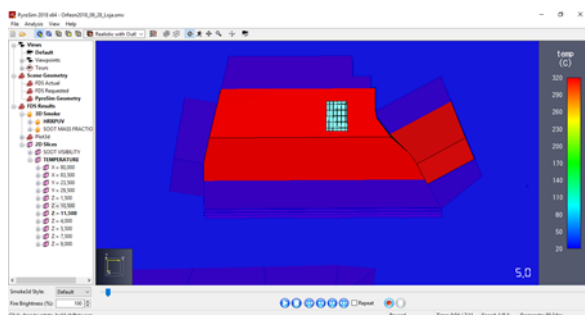
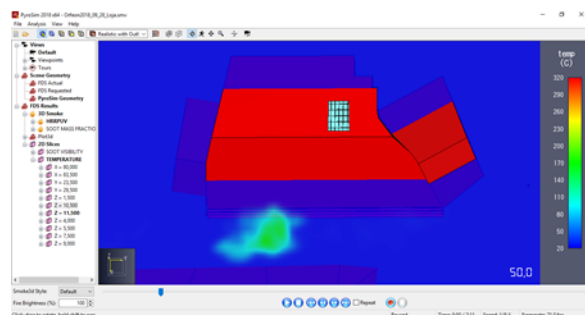
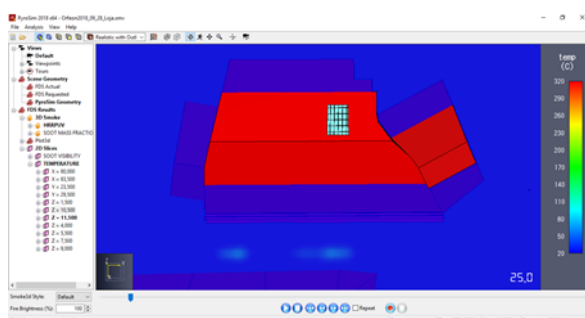
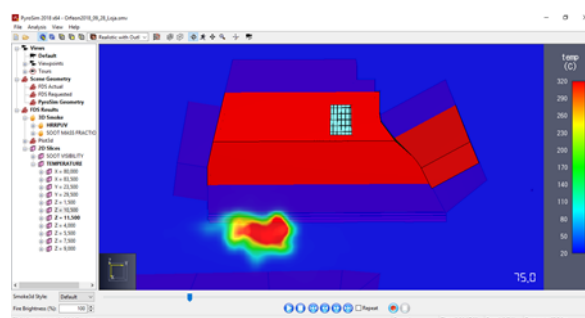
Nota 25 – Temperatura máxima atingida: 270 °C

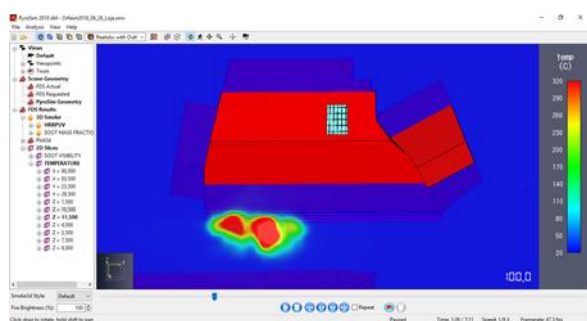
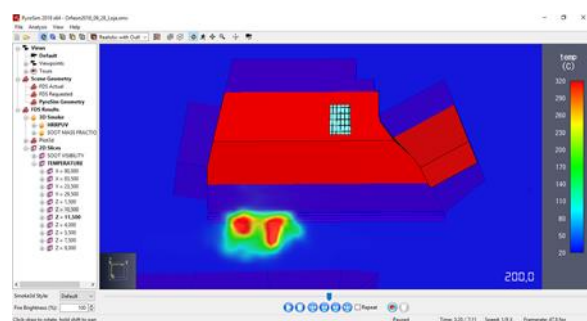
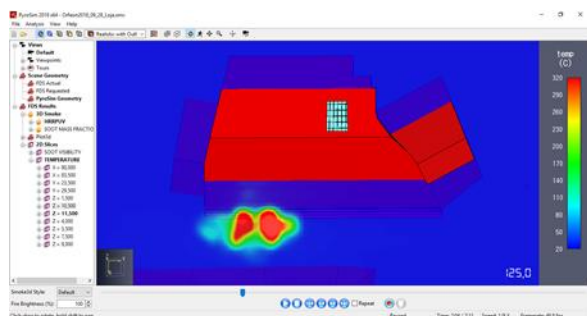
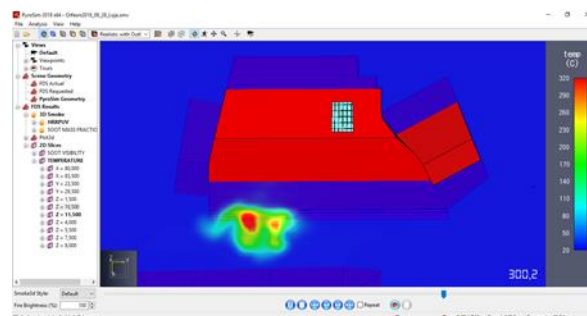
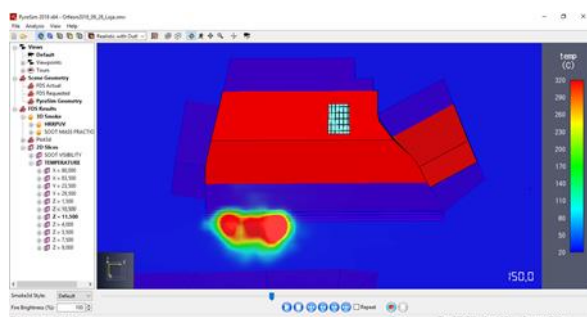
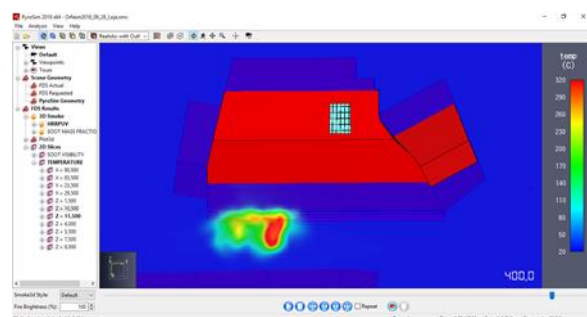
Figura 489 – Plano de temperaturas $t = 5$ sFigura 492 – Plano de temperaturas $t = 75$ sFigura 490 – Plano de temperaturas $t = 25$ sFigura 493 – Plano de temperaturas $t = 100$ sFigura 491 – Plano de temperaturas $t = 50$ sFigura 494 – Plano de temperaturas $t = 125$ s

Figura 495 – Plano de temperaturas $t = 150$ sFigura 497 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 496 – Plano de temperaturas $t = 200$ sFigura 498 – Plano de temperaturas $t = 400$ s

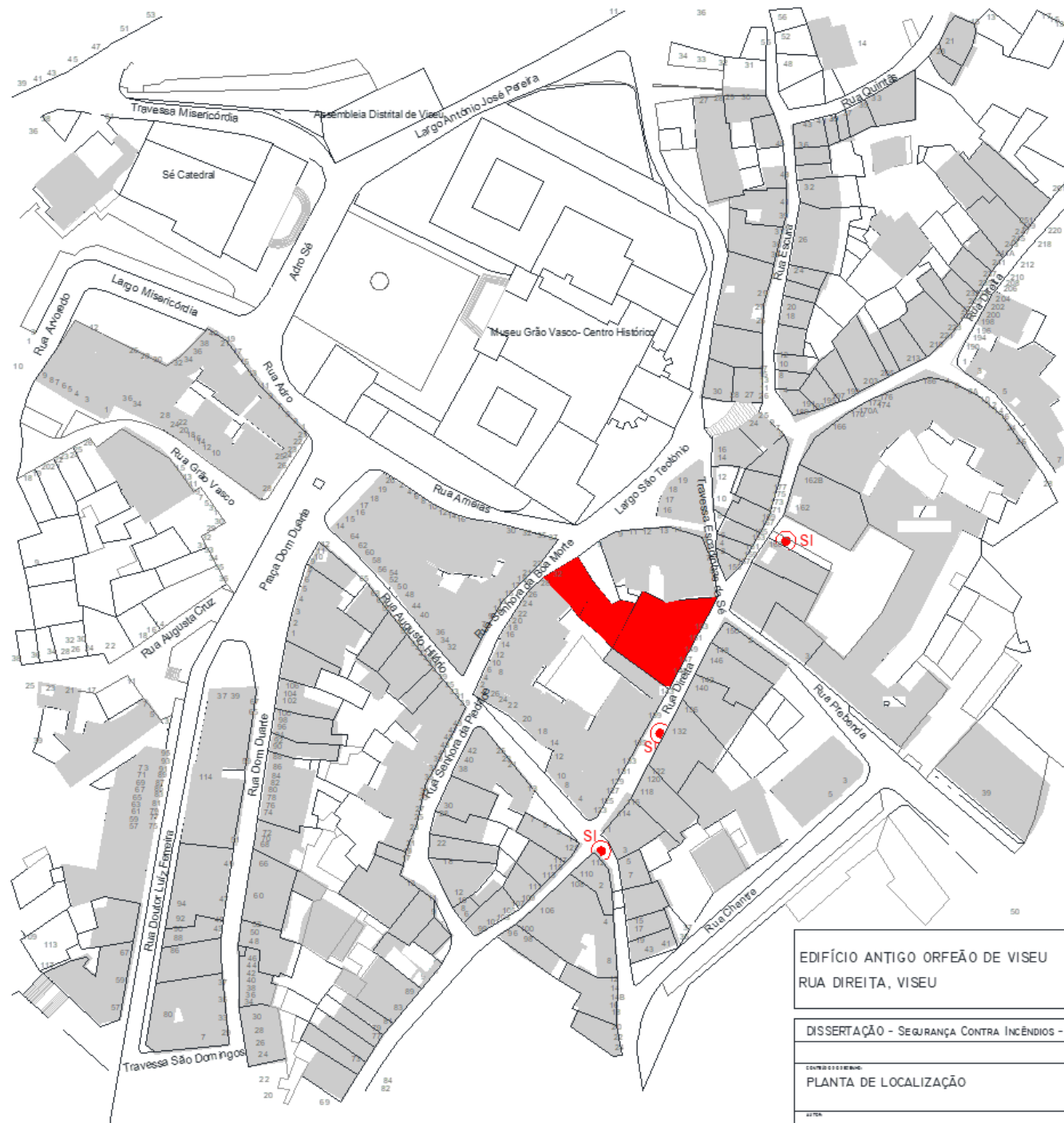
6.5. Plano de temperaturas – cota 11,50 metros

Nota 26 – Temperatura máxima atingida: 320 °C

Figura 499 – Plano de temperaturas $t = 5$ sFigura 501 – Plano de temperaturas $t = 50$ sFigura 500 – Plano de temperaturas $t = 25$ sFigura 502 – Plano de temperaturas $t = 75$ s

Figura 503 – Plano de temperaturas $t = 100$ sFigura 506 – Plano de temperaturas $t = 200$ sFigura 504 – Plano de temperaturas $t = 125$ sFigura 507 – Plano de temperaturas $t = 300$ sFigura 505 – Plano de temperaturas $t = 150$ sFigura 508 – Plano de temperaturas $t = 400$ s

ANEXO 2 – PLANTAS DE SCIE DO EDIFÍCIO DO ANTIGO ORFEON DE VISEU



EDIFÍCIO ANTIGO ORFEÃO DE VISEU
RUA DIREITA, VISEU

DISSERTAÇÃO - SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS - ANTIGO ORFEÃO E O CENTRO HISTÓRICO DE VISEU

PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

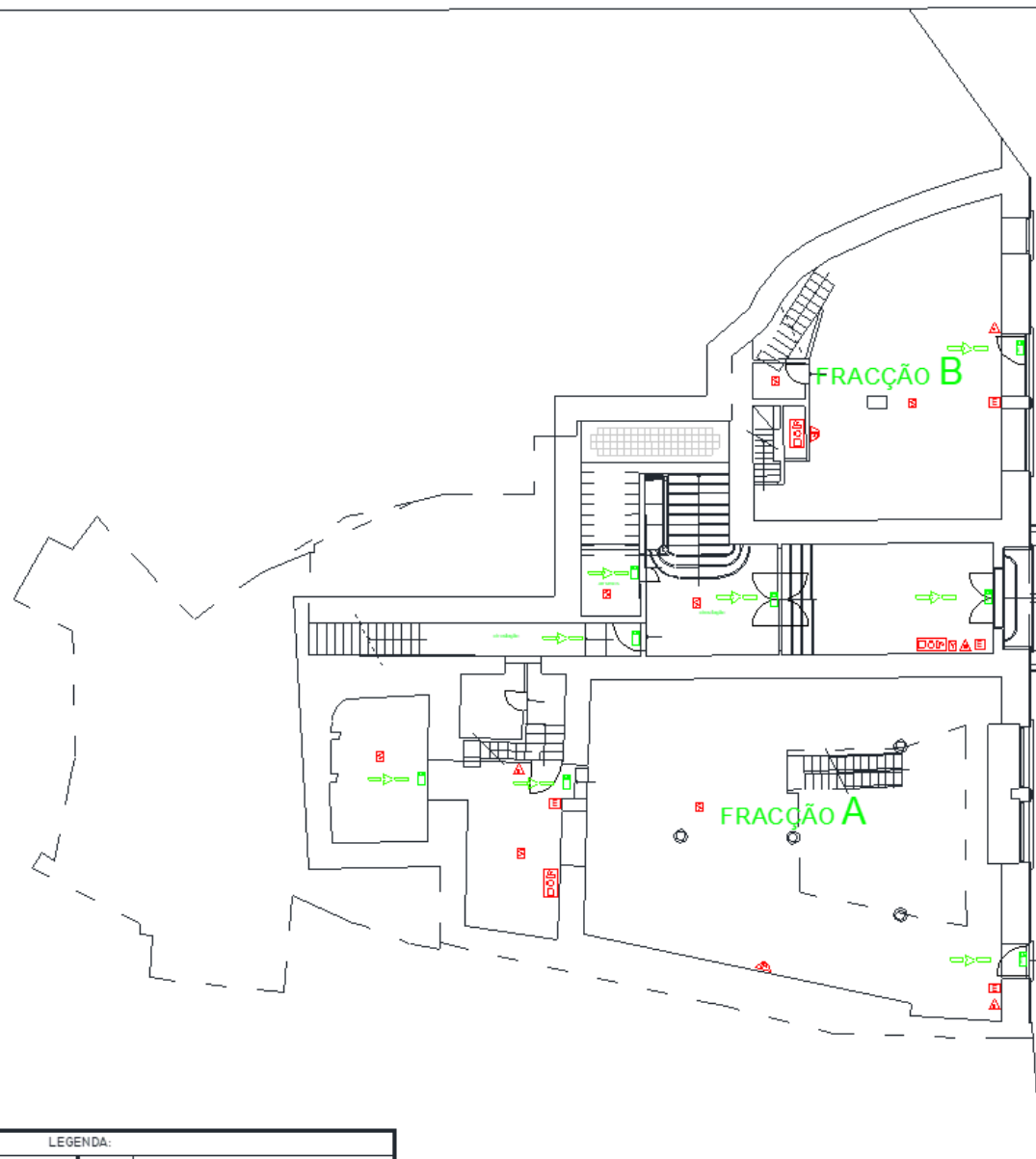
PAULO JORGE FECHINHA FIGUEIREDO

0

TABLE 1

SCALE:
1:2000

SETEMBRO 2018



LEGENDA:

	EXTINTOR DE FÓSFORO ABC		DIVISÃO
	BOTA-DE-ÍNDIO		CENTRAL DE DETECÇÃO
	BOTÃO DE ALARME		LOCALIZAÇÃO DAS PLANTAS DE EMERGÊNCIA
	DETECTOR DE FUMOS		ELIMÍNIO PARA CHAMAR 30 MINUTOS
	DETECTOR DE ROLAMENTO MÉTRICO		ELIMÍNIO CORTE FOGO 30 MINUTOS
	I.D. NÃO PERMANENTE E AUTÓNOMO		CAMINHO DE EVACUAÇÃO
	I.D. PERMANENTE E AUTÓNOMO		DETEÇÃO E CORTE DE GÁS
	I.D. NÃO PERMANENTE E AUTÓNOMO COM INDICAÇÃO DE SAÍDA		CLAREIRA DE SEGURANÇA

EDIFÍCIO ANTIGO ORFEÃO DE VISEU
RUA DIREITA, VISEU

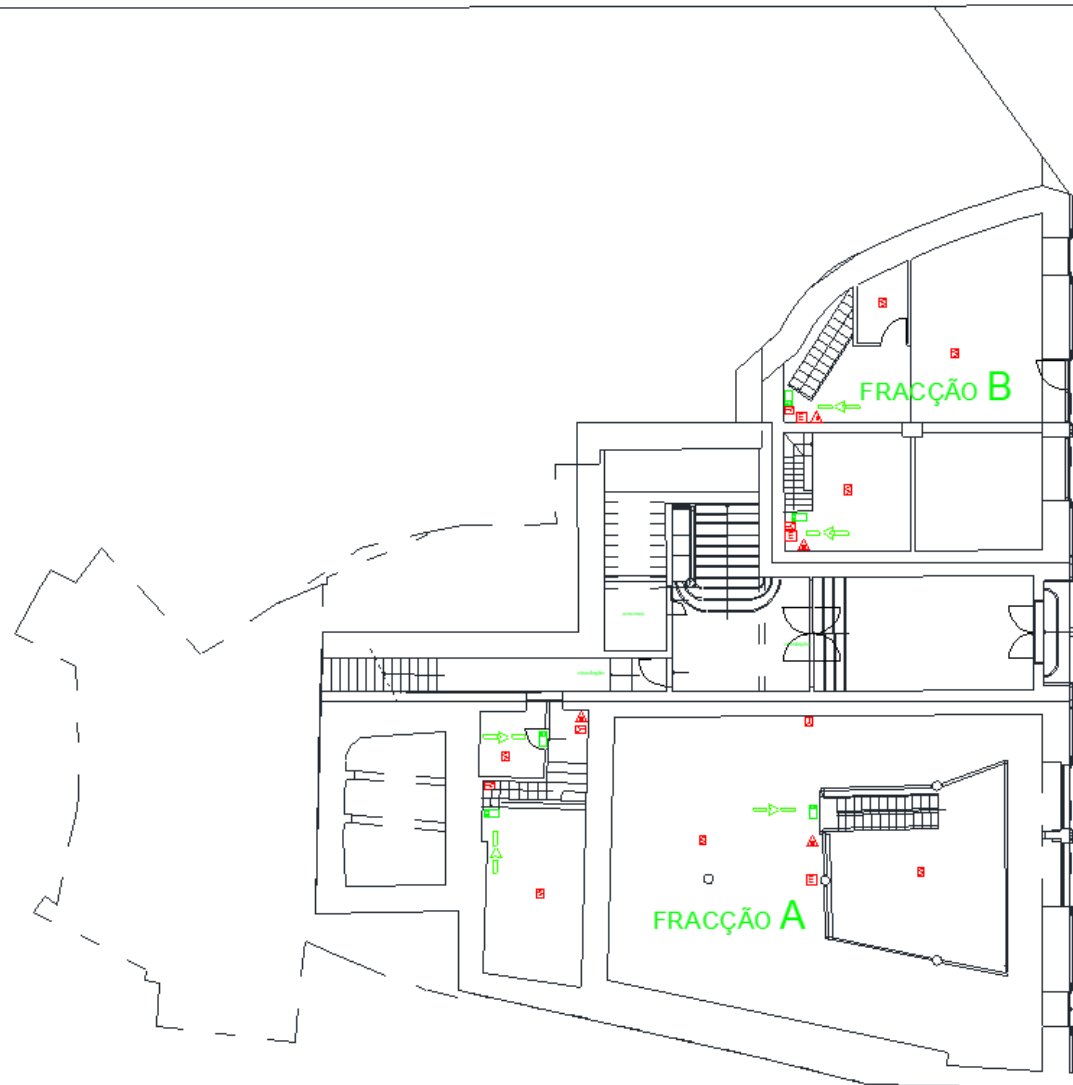
DICERTACÃO - SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS - ANTIGO ORFEÃO E O CENTRO HISTÓRICO DE VISEU

PLANTA DE REG. DO CHÃO

PAULO JORGE DE FONSECA FILIPE

02

02/08/2018



LEGENDA:

	EXTINTOR DE PO. QUÍMICO 2KG ABC		DIÁFANO
	BICA DE INCÊNDIO		CENTRAL DE DETECÇÃO
	BOTONEIRA DE ALARME		LOCALIZAÇÃO DAS PLANTAS DE DEFENSIVA
	DETECTOR DE FUMOS		ELIMÍNIO PARA CHAMAS 30 MINUTOS
	DETECTOR TERMIVELOCIMÉTRICO		ELIMÍNIO CONTRA FOGO 30 MINUTOS
	I.D. NÃO PERMANENTE E AUTÓNOMO		CAMINHO DE EVACUAÇÃO
	I.D. PERMANENTE E AUTÓNOMO		DETEÇÃO E CORREÇÃO DE GÁS
	I.D. NÃO PERMANENTE E AUTÓNOMO COM INDICAÇÃO DE SAÍDA		CLASSE B. DE SEGURANÇA

EDIFÍCIO ANTIGO ORFEÃO DE VISEU
RUA DIREITA, VISEU

DICERTIFICAÇÃO - SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS - ANTIGO ORFEÃO E O CENTRO HISTÓRICO DE VISEU

PLANTA DE RES DO CHÃO SUPERIOR

DATA: 10/01/2018
AUTOR: PAULO JORGE DE FIGUEIRA FILIPE

03

LEGENDA

1/00

2018

2018



LEGENDA:			
	EXTINTOR DE FO FÓFHO DECO ABC		CHUVEIRO
	BICA DE INCÊNDIO		CENTRAL DE DETEÇÃO
	BOTONHEIRA DE ALARME		LOCALIZAÇÃO DAS PLANTAS DE EMERGÊNCIA
	DETECTOR DE FUMOS		ELEMENTO PARA CONTAR 30 MINUTOS
	DETECTOR TERMOELECTRÓNICO		ELEMENTO CORTE FOGO 30 MINUTOS
	I.D. NÃO PERMANENTE E AUTÓNOMO		CAMINHO DE EVACUAÇÃO
	I.D. SEMIPERMANENTE E AUTÓNOMO		DETEÇÃO E CORREÇÃO DE GÁS
	I.D. NÃO PERMANENTE E AUTÓNOMO COM INDICAÇÃO DE SAÍDA		CLASSE DE INCENDIÁRIO

EDIFÍCIO ANTIGO ORFEÃO DE VISEU
RUA DIREITA, VISEU

DISCERTEÇÃO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO - ANTIGO ORFEÃO E O CENTRO HISTÓRICO DE VISEU

PLANTA 1ª ANDAR

PAULO JOM DE FECHADIA E ENGENHEIRO

04
1:100
2018